



**TUGAS AKHIR - TM 145502**

**PENGARUH PROSES ANNEALING  
TERHADAP PERUBAHAN KEKERASAN  
DAN STRUKTUR MIKRO PADA PIPA SA 179  
YANG TELAH MENGALAMI  
PEMBENGKOKAN**

**LANAL SEPTIAWAN NUGROHO**  
**NRP. 2114 030 017**

**Dosen Pembimbing :**  
**Ir. Gathot Dwi Winarto, MT**  
**NIP. 19580915 198701 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN INDUSTRI**  
**Fakultas Vokasi**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2017**



**TUGAS AKHIR - TM 145502**

**PENGARUH PROSES ANNEALING  
TERHADAP PERUBAHAN KEKERASAN  
DAN STRUKTUR MIKRO PADA PIPA SA 179  
YANG TELAH MENGALAMI  
PEMBENGKOKAN**

**LANAL SEPTIAWAN NUGROHO  
NRP. 2114 030 017**

**Dosen Pembimbing :  
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT  
NIP. 19580915 198701 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN INDUSTRI  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**



**FINAL PROJECT - TM 145502**

**EFFECT OF ANNEALING PROCESS TO  
HARDNESS AND MICRO STRUCTURE ON  
PIPE SA 179 WHICH HAS BEEN BENT**

**LANAL SEPTIAWAN NUGROHO  
NRP. 2114 030 017**

**Consellor Lecture :  
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT  
NIP. 19580915 198701 1 001**

**DIPLOMA 3 PROGRAM INDUSTRIAL MECHANICAL  
ENGINEERING  
Faculty of Vocation  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017**

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **PENGARUH PROSES ANNEALING TERHADAP PERUBAHAN KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA PIPA SA 179 YANG TELAH MENGALAMI PEMBENGKOKAN**

#### **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Ahli Madya  
pada

Bidang Studi Manufaktur  
Program Studi Diploma III Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**LANAL SEPTIAWAN NUGROHO**  
**NRP 2114 030 017**



Ir. Gathot Dwi Winarto, MT  
NIP 19580915 198701 1 001

**SURABAYA, JULI 2017**

# **PENGARUH PROSES ANNEALING TERHADAP PERUBAHAN KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA PIPA SA 179 YANG TELAH MENGALAMI PEMBENGKOKAN**

**Nama** : Lanal Septiawan Nugroho  
**NRP** : 2114 030 017  
**Jurusan** : Teknik Mesin Industri FV-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Gathot Dwi Winarto, MT

## **Abstrak**

Baja paduan adalah baja yang sering digunakan sebagai pipa boiler atau heat exchanger. Kondisi operasional yang ekstrim serta proses pembengkokan pipa menyebabkan perubahan nilai kekerasan, oleh karena itu perlu diberikan *heat treatment*. *Annealing* merupakan salah satu metode perlakuan panas yang digunakan untuk memperbaiki sifat mekanik baja. Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh perlakuan *annealing* terhadap kekerasan dan struktur mikro baja paduan SA 179.

Pada penelitian ini proses *annealing* dilakukan dengan cara, baja dipanaskan hingga temperatur 850°C. Selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas terhadap perubahan nilai kekerasan, serta dilakukan juga pengamatan melalui mikroskop optic untuk mengetahui struktur mikro material SA 179.

Dari hasil pengujian kekerasan, didapatkan bahwa material pipa yang telah dibengkokkan mengalami kenaikan kekerasan dari pada pipa sebelum dibengkokkan, dan pada saat pipa bengkok dilaku panas dengan proses *annealing* mengalami penurunan nilai kekerasan. Sedangkan hasil pengujian metalografi pada pipa yang telah dilakukan proses *annealing* terdapat butir ferrit dan pearlite. Perlakuan *annealing* menyebabkan ukuran butir menjadi lebih besar dan seragam daripada pipa sebelum dilaku panas. Sehingga terbukti dengan dilakukan proses *annealing* pada pipa yang telah dibengkokkan ini dapat memperbaiki sifat mekanik pipa.

Kata-kata kunci : Pengaruh *annealing*, Proses pembengkokan, *Hardness Test*, dan *Metalography Test*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **EFFECT OF ANNEALING PROCESS TO HARDNESS AND MICRO STRUCTURE ON PIPE SA 179 WHICH HAS BEEN BENT**

**Name : Lanal Septiawan Nugroho**  
**NRP : 2114 030 017**  
**Department : D3 Mechanical Engineering FTI-ITS**  
**Supervisor : Ir. Gathot Dwi Winarto MT.**

## **Abstract**

Steel alloy is a steel that is often used as a boiler pipe or heat exchanger. Extreme operational conditions and pipe bending processes that are not done properly cause changes in the value of violence, therefore heat treatment is required. Annealing is one method of heat treatment used to improve the mechanical properties of steel. The purpose of this study was to see the effect of annealing treatment on hardness and microstructure of SA 179 alloy steel.

In this experiment the annealing process is carried out in a manner the steel is heated to a temperature of  $850^{\circ}\text{C}$ , then testing hardness to determine the effect of heat treatment on the change of hardness value and also observation through optical microscope to know the micro structure of SA 179 material.

From the results of hardness testing, it was found that the pipe material that has been bending increased the hardness of the pipe before the bending and when the bending pipe heat treatment by annealing process has decreased the hardness value of the bending pipe before the heat treatment. While the results of metallographic testing, on pipes that have been heat treatment by annealing process there are grains of ferrite and pearlite which tend to be more uniform and smoother than the pipe before the heat. So it is proven that by doing annealing process on this bending pipe can improve the mechanical properties of the pipe.

**Keywords:** Effects of Annealing, Bending Process, Hardness Test, and Metalography Test

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, serta atas segala Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir yang berjudul :

### **“PENGARUH PROSES ANNEALING TERHADAP PERUBAHAN KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA PIPA SA 179 YANG TELAH MENGALAMI PEMBENGKOKAN”**

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi D3 Teknik Mesin Industri-ITS untuk bisa dinyatakan lulus dengan mendapatkan gelar Ahli Madya.

Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan tugas akhir ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Gathot Dwi Winarto, MT selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku Ketua Program Studi D3 Teknik Mesin Industri.
3. Bapak Ir. Suhariyanto, M.Sc. selaku koordinator tugas akhir program studi D3 Teknik Mesin Industri.
4. Bapak Ir. Arino Anzip, MEng, Sc selaku Dosen Wali selama di D3 Teknik Mesin Industri.
5. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Jurusan D3 Teknik Mesin Industri, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.
6. Teman – teman D3 Teknik Mesin angkatan 2014, yang telah menemani selama 3 tahun.

7. Orang tua tercinta Bapak dan Ibu serta Adik yang selalu memberikan semangat, doa, serta dukungan dalam bentuk apapun.
8. Serta seluruh pihak yang belum disebutkan di atas dimana telah memberikan doa bantuan dan dukungan bagi penulis hingga tugas akhir ini selesai tepat waktu dengan baik.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan masukan dari semua pihak, sehingga tugas akhir ini bisa menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan memberikan manfaat dalam perkembangan pengetahuan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3

### BAB II DASAR TEORI

2.1 Definisi Baja.....	5
2.2 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Baja.....	6
2.3 Perlakuan Panas ( <i>Heat Treatment</i> ).....	7
2.3.1 Annealing.....	10
2.4 Pipa.....	11
2.5 Bending.....	12
2.6 Sifat Mekanik Material.....	14
2.7 <i>Hardness Test</i> .....	16
2.7.1 Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i> .....	16
2.8 <i>Metalography test</i> .....	19
2.8.1 Menghitung Besar Butir .....	24

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Metode Penelitian .....	25
3.2 Material dan Dimensi Spesimen.....	25
3.2.1 Spesimen Uji Kekerasan .....	25
3.2.2 Spesimen Uji Metalografi.....	26
3.3 Variabel Penelitian.....	26
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	27
3.5 Tempat dan Waktu Penelitian.....	28
3.6 Prosedur Penelitian .....	29
3.6.1 Studi literatur .....	29
3.6.2 Persiapan Material .....	29
3.6.3 Persiapan Alat .....	31
3.6.4 Proses Bending.....	31
3.6.5 Pemotongan Spesimen Uji .....	32
3.6.6 Perlakuan Panas .....	32
3.6.7 Pengujian Spesimen.....	34

### **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Parameter Annealing .....	37
4.2 Pengukuran Tebal Pipa .....	38
4.3 <i>Hardness Test</i> (Uji Kekerasan) .....	40
4.4 <i>Metalography Test</i> (Uji Metalografi).....	43
4.5 Menghitung Besar Butir .....	51

### **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran .....	67

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

### **BIODATA PENULIS**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Fasa Fe-Fe <sub>3</sub> C.....	08
Gambar 2.2	Diagram <i>Full Anneling</i> .....	11
Gambar 2.3	Pipa. ....	11
Gambar 2.4	<i>Rotary Draw Bending</i> . ....	13
Gambar 2.5	<i>Press Bending</i> . ....	13
Gambar 2.6	<i>Roll Bending</i> . ....	14
Gambar 2.7	Penetrasi <i>Rockwell</i> .....	17
Gambar 2.8	Alat Uji Kekerasan <i>Rockwell</i> .....	17
Gambar 2.9	Ferrit.....	20
Gambar 2.10	Pearlite. ....	21
Gambar 2.11	Austenite.....	21
Gambar 2.12	Ledeburite.....	22
Gambar 2.13	Cementite.....	22
Gambar 2.14	Bainite ....	23
Gambar 2.15	Martensite.....	23
Gambar 2.16	Garis Bantu Intercept Counting.....	24
Gambar 3.1	Spesimen Uji Kekerasan.....	25
Gambar 3.2	Spesimen Uji Metalografi. ....	26
Gambar 3.3	Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3.4	Diagram Alir Penelitian (lanjutan).....	28
Gambar 3.5	Dimensi Material. ....	29
Gambar 3.6	Pipa Material SA 179. ....	30
Gambar 3.7	Skema Proses Bending.....	31
Gambar 3.8	Proses Pembendungan.....	31
Gambar 3.9	Benda kerja hasil bending. ....	32
Gambar 3.10	Skema Pemotongan Spesimen.....	32
Gambar 3.11	Alat Oven.....	33
Gambar 3.12	Diagram Proses Perlakuan Panas.....	33
Gambar 3.13	Alat Uji Kekerasan Rockwell.....	34
Gambar 3.14	Spesimen Uji Kekerasan. ....	35
Gambar 3.15	Lokasi Indentasi Uji Kekerasan ....	35
Gambar 4.1	Lokasi Pengukuran Ketebalan Pipa ....	38
Gambar 4.2	Spesimen Pengukuran Ketebalan ....	38
Gambar 4.3	Grafik Perbandingan Ketebalan Pipa ....	39
Gambar 4.4	Lokasi Indentasi Pada Uji Kekerasan ....	40

Gambar 4.5	Spesimen Uji Kekerasan .....	40
Gambar 4.6	Grafik Nilai Kekerasan Pipa Bending Tanpa Annealing.....	41
Gambar 4.7	Grafik Nilai Kekerasan Pipa Bending Annealing.....	42
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Rata-rata.....	43
Gambar 4.9	Lokasi Pengujian Struktur Mikro.....	44
Gambar 4.10	Struktur Mikro Spesimen D .....	44
Gambar 4.11	Struktur Mikro Spesimen A-I.....	45
Gambar 4.12	Struktur Mikro Spesimen A-III .....	45
Gambar 4.13	Struktur Mikro Spesimen C-I.....	46
Gambar 4.14	Struktur Mikro Spesimen C-III .....	46
Gambar 4.15	Struktur Mikro Spesimen B-I.....	47
Gambar 4.16	Struktur Mikro Spesimen B-III .....	47
Gambar 4.17	Struktur Mikro Spesimen A-I.....	48
Gambar 4.18	Struktur Mikro Spesimen A-III .....	48
Gambar 4.19	Struktur Mikro Spesimen C-I.....	49
Gambar 4.20	Struktur Mikro Spesimen C-III .....	49
Gambar 4.21	Struktur Mikro Spesimen B-I .....	50
Gambar 4.22	Struktur Mikro Spesimen B-III .....	50
Gambar 4.23	Struktur Mikro Spesimen D .....	51
Gambar 4.24	Struktur Mikro Spesimen A-I.....	52
Gambar 4.25	Struktur Mikro Spesimen A-III .....	53
Gambar 4.26	Struktur Mikro Spesimen B-I.....	54
Gambar 4.27	Struktur Mikro Spesimen B-III .....	55
Gambar 4.28	Struktur Mikro Spesimen C-I.....	56
Gambar 4.29	Struktur Mikro Spesimen C-III .....	57
Gambar 4.30	Struktur Mikro Spesimen A-I.....	58
Gambar 4.31	Struktur Mikro Spesimen A-III .....	59
Gambar 4.32	Struktur Mikro Spesimen B-I.....	60
Gambar 4.33	Struktur Mikro Spesimen B-III .....	61
Gambar 4.34	Struktur Mikro Spesimen C-I.....	62
Gambar 4.35	Struktur Mikro Spesimen C-III .....	63
Gambar 4.36	Grafik Batas Butir Pipa Bending Nonheat Treatment .....	64
Gambar 4.37	Grafik Batas Butir Pipa Bending Annealing ...	65

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Skala Uji Kekerasan <i>Rockwell</i> . ....	18
Tabel 3.1	Komposisi Kimia Material SA 179.....	30
Tabel 3.2	Sifat Mekanik Material SA 179.....	30
Tabel 4.1	Spesifikasi Material .....	37
Tabel 4.2	Parameter Perlakuan Panas.....	37
Tabel 4.3	Nilai Perbandingan Ketebalan Pipa.....	39
Tabel 4.4	Nilai Kekerasan untuk Pipa Nontreatment.....	41
Tabel 4.5	Nilai Kekerasan untuk Pipa Bending Annealing.....	42
Tabel 4.6	Ukuran Batas Butir Pipa Bending Nonheat Treatment. ....	64
Tabel 4.7	Ukuran Batas Butir Pipa Bending Annealing...	65

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Baja paduan merupakan material yang sangat luas penggunaannya dan sudah digunakan diberbagai macam sektor. Baja SA 179 adalah salah satu baja yang digunakan untuk kondisi operasional yang ekstrim. Pada umumnya baja paduan ini digunakan sebagai bahan untuk pipa boiler ataupun heat exchanger. Baja ini dipilih karena sifatnya yang tahan terhadap temperatur tinggi dan juga memiliki sifat tahan karat yang baik. Keunggulan sifat – sifat mekanis yang dimiliki oleh baja SA 179 akan mengalami penurunan salah satunya adalah perubahan nilai kekerasan akibat proses pembengkokan.

Untuk mengembalikan sifat mekanis pada pipa yang telah dibengkokan perlu dilakukan perlakuan panas, karena perlakuan panas akan memberikan perubahan struktur mikro dimana struktur mikro sangat berpengaruh pada sifat mekanis baja. Jenis perlakuan panas yang digunakan yaitu *annealing*. Diharapkan, dengan dilakukannya perlakuan panas pada pipa yang telah dibengkokan ini akan terjadi perubahan struktur mikro yang berdampak pada peningkatan sifat – sifat mekanis baja. Peningkatan sifat – sifat mekanis baja ini diukur dengan melakukan pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro.

Pada penelitian sebelumnya pernah dilakukan penelitian tentang “Pengaruh Proses Normalising Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Pipa SA 179 yang Telah Mengalami Pembengkokan” oleh Fahmi Ainun Afif (2014).

Pada penelitian kali ini menggunakan temperatur pemanasan yang berbeda dari penelitian sebelumnya, dimana temperatur pemanasan yang dipakai adalah 850°C dan pendinginannya secara lambat dalam dapur pemanas, kemudian dilakukan pengujian kekerasan dan struktur mikro. Dengan demikian diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai pengaruh proses *annealing* terhadap perubahan kekerasan dan struktur mikro pada pipa yang telah dibengkokan.



## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan utama yang akan dibahas dalam penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana pengaruh proses *annealing* terhadap perubahan nilai kekerasan pipa material SA 179 yang telah mengalami pembengkokan.
2. Bagaimana pengaruh proses *annealing* terhadap struktur mikro pipa material SA 179 yang telah mengalami pembengkokan.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah untuk tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah SA 179 dengan diameter 51mm, panjang 1000 mm dan tebal 2,9 mm.
2. Material yang digunakan dianggap tidak ada cacat.
3. Proses bending pipa menggunakan metode rotary draw bending.
4. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekerasan (*Hardness test*) dan pengujian metalografi (*Metalography test*).

## 1.4 Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh proses *annealing* terhadap perubahan kekerasan pada pipa material SA 179 yang telah mengalami pembengkokan.
2. Mengetahui pengaruh proses *annealing* terhadap perubahan struktur mikro pada pipa material SA 179 yang telah mengalami pembengkokan.

## 1.5 Manfaat

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada dunia industri mengenai pengaruh

proses *annealing* terhadap perubahan nilai kekerasan dan struktur mikro pada pipa yang telah mengalami pembengkokan, serta dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan pengetahuan khususnya ilmu bahan.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Penelitian ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

### **BAB I Pendahuluan**

Berisi penjelasan singkat mengenai latar belakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat dan sistematika penulisan.

### **BAB II Dasar Teori**

Berisi mengenai landasan teori yang dijadikan sebagai pedoman dalam menyelesaikan tugas akhir.

### **BAB III Metodologi**

Berisi mengenai alur pengerjaan tugas akhir yang diinterpretasikan dalam diagram alir serta penjelasan pada setiap pengerjaan tugas akhir.

### **BAB IV Hasil dan Analisa**

Berisi hasil pengujian kekerasan dan pengujian metalografi serta analisa dan pembahasannya.

### **BAB V Kesimpulan dan Saran**

Berisi kesimpulan dari penjabaran hasil analisa serta saran yang bermanfaat guna keberlanjutan penelitian yang terkait kedepannya.

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1. Definisi Baja

Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Di samping itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh prosentase karbon dan struktur mikro. Struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja.

Karbon dengan unsur campuran lain dalam baja membentuk karbid yang dapat menambah kekerasan, menaikkan kekuatan tarik dan titik mulur. Perbedaan prosentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

a) Baja karbon rendah

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon kurang dari 0,3%. Baja ini bukan baja yang keras karena kandungan karbonnya yang rendah kurang dari 0,3% C. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit.

b) Baja karbon menengah

Baja karbon menengah (*medium carbon steel*) mengandung karbon 0,3% C – 0,6% C dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan perlakuan panas (heat treatment) yang sesuai. Baja karbon sedang lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah.

c) Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) mengandung 0,6% C – 2,0% C dan memiliki kekerasan tinggi namun keuletannya lebih rendah. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi

tidak memberikan hasil yang optimal dikarenakan terlalu banyaknya martensit sehingga membuat baja menjadi getas.

## **2.2 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Baja**

Untuk mengatasi kekurangan sifat yang dimiliki oleh baja, maka dilakukan penambahan unsur paduan. Penambahan unsur - unsur paduan dalam baja akan membawa pengaruh sebagai berikut:

**a) Mangan (Mn)**

Unsur mangan dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai *deoxidizer* (pengikat O<sub>2</sub>) sehingga proses peleburan dapat berlangsung baik. Kadar Mn yang rendah dapat menurunkan pendinginan kritis.

**b) Nikel (Ni)**

Unsur nikel meningkatkan keuletan, ketahanan karat, tetapi menurunkan kecepatan kritis dan pendinginan kritis.

**c) Silikon (Si)**

Unsur Silikon meningkatkan kekuatan, kekerasan, ketahanan aus, ketahanan terhadap panas dan karat, tetapi menurunkan regangan, kemampuan untuk dapat ditempa dan dilas.

**d) Khrom (Cr)**

Unsur krom meningkatkan kekerasan, kekuatan tarik, ketahanan aus, ketahanan terhadap korosi, asam dan temperature tinggi, tetapi menurunkan regangan.

**e) Kobalt (Co)**

Unsur kobalt meningkatkan kekerasan, ketahanan aus, daya hantar listrik, ketahanan korosi dan panas.

**f) Molibdenum (Mo)**

Meningkatkan kekuatan tarik, ketahanan aus, kemampuan untuk dapat ditemper menyeluruh, ketahanan panas, tetapi menurunkan regangan, kemampuan untuk dapat ditempa dan dilas.

**g) Vanadium (V)**

Unsur vanadium meningkatkan kekerasan, kekuatan tarik serta tahan terhadap temperatur tinggi, tetapi menurunkan regangan. Banyak digunakan pada tool stell atau baja perkakas.

**h) Wolfram (W)**

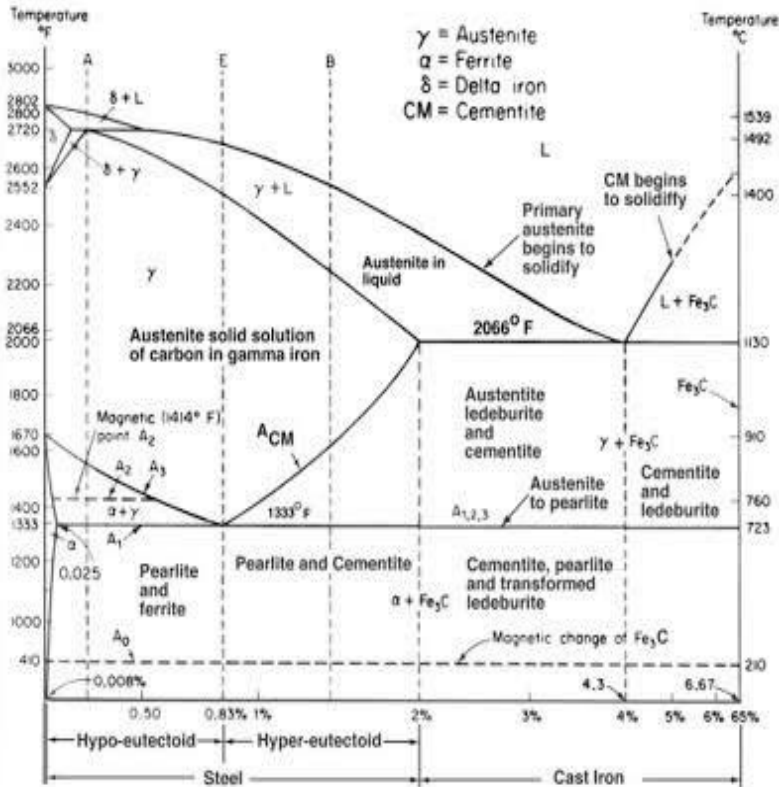
Unsur wolfram akan membentuk senyawa karbida didalam material sehingga akan menyebabkan material menjadi lebih keras

### **2.3 Perlakuan Panas (Heat Treatment).**

Perlakuan panas (Heat Treatment) adalah suatu proses mengubah sifat logam dengan jalan mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan, penahanan waktu dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan tanpa atau merubah komposisi kimia yang bersangkutan. Tujuan dilakukannya proses perlakuan panas yaitu untuk merekayasa atau memanipulasi sifat mekanik baja sesuai dengan kebutuhan dan keperluan yang diinginkan. Proses laku panas pada baja pada umumnya akan melibatkan transformasi atau dekomposisi austenit yang nantinya akan menentukan sifat fisik dan mekanik baja. Parameter yang membedakan proses laku panas satu dengan proses laku panas yang lain yaitu tinggi temperatur pemanasan, lamanya waktu penahanan dan laju pendinginan. Adapun prinsip-prinsip proses perlakuan panas antara lain:

1. Laju pemanasan dimana material dipanaskan sampai temperatur austenit. Pemanasan yang dilakukan tidak sampai merubah bentuk komponen (tetap dalam keadaan solid, temperatur pemanasan tidak sampai fasa  $\delta$  (delta), karena fasa  $\delta$  terbatas, pemanasan tidak sampai pada fasa  $\gamma$  yang bertemperatur tinggi, karena butir akan menjadi kasar.
2. Penahanan waktu (holding time) dimana setelah material mencapai temperatur austenite kemudian dilakukan penahanan waktu pada temperatur tertentu untuk mendapatkan struktur fasa yang seragam.

- Proses pendingin dimana pendingin baja dilakukan secara perlahan dalam dapur pemanas sampai mencapai suhu kamar yang memerlukan waktu beberapa jam



**Gambar 2.1** Diagram Fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C (Smith, William F. 2006)

Beberapa istilah dalam diagram kesetimbangan Fe-Fe<sub>3</sub>C dan fasa-fasa yang terdapat didalam diagram diatas akan dijelaskan dibawah ini. Berikut adalah batas-batas temperatur kritis pada diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C.

- A<sub>1</sub> adalah temperatur reaksi eutektoid yaitu perubahan fasa  $\gamma$  menjadi  $\alpha$ +Fe<sub>3</sub>C (perlite) untuk baja hypoeutektoid.

2.  $A_2$  adalah titik Currie (pada temperatur  $769^{\circ}\text{C}$ ), dimana sifat magnetik besi berubah dari feromagnetik menjadi paramagnetik.
3.  $A_3$  adalah temperatur transformasi dari fasa  $\gamma$  menjadi  $\alpha$  (ferit) yang ditandai pula dengan naiknya batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.
4.  $A_{cm}$  adalah temperatur transformasi dari fasa  $\gamma$  menjadi  $\text{Fe}_3\text{C}$  (sementit) yang ditandai pula dengan penurunan batas kelarutan karbon seiring dengan turunnya temperatur.
5.  $A_{123}$  adalah temperatur transformasi  $\gamma$  menjadi  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$  (perlite) untuk baja hypereutectoid.

Secara umum proses perlakuan panas dapat diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu:

1. Laku panas kondisi *equilibrium*  
 Laku panas yang dilakukan dengan kondisi setimbang (*equilibrium*) atau mendekati kondisi setimbang sehingga akan menghasilkan struktur mikro yang mendekati kondisi pada diagram fasenya. Tujuan dari laku panas kondisi *equilibrium* adalah untuk melunakan dan menghaluskan butir kristal, menghilangkan tegangan dalam dan memperbaiki *machineability*. Jenis-jenis dari perlakuan panas kondisi *equilibrium* ini antara lain *full annealing*, *normalising*, *stress relief annealing*, *spheroidizing* dan *homogenising*.
2. Laku panas kondisi *non equilibrium*  
 Laku panas yang dilakukan dengan cara memberikan pendinginan cepat pada logam yang sudah dipanaskan sehingga tidak ada kesempatan bagi logam untuk mencapai kondisi yang setimbang karena waktu yang dibutuhkan untuk transformasi atau dekomposisi tidak cukup. Tujuan dari laku panas kondisi *non equilibrium* adalah untuk mendapatkan sifat kekerasan dan kekuatan logam yang lebih tinggi. Jenis dari perlakuan panas kondisi *non equilibrium* ini antara lain *hardening*, *martempering*, *austempering* dan *surface hardening*.

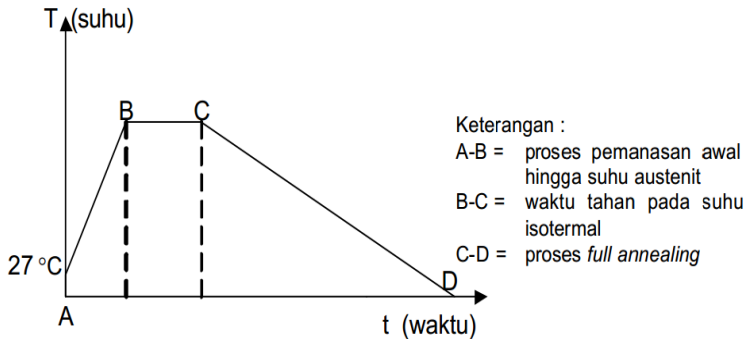


### 2.3.1 Annealing

Kebanyakan logam paduan yang akan dipakai untuk aplikasi teknik harus mempunyai kombinasi kekuatan (*strength*) dan keuletan (*ductility*) yang baik. Logam dapat menjadi lebih keras apabila mendapat pengerjaan dingin (*cold working*). Dalam beberapa hal pengerasan ini kurang disukai, oleh karena itu untuk menghilangkan efek pengerasan ini logam dapat dilunakkan dengan cara *annealing*. Dengan dilakukan proses *annealing* maka akan terbentuk kristal *austenite* dan bila didinginkan dengan lambat maka akan dihasilkan kristal *ferrit* dan *pearlite* pada baja *hypoeutectoid* atau *pearlite* dan *sementit network* pada baja *hypereutectoid*. Keuntungan yang didapat dari proses ini adalah sebagai berikut :

- a. Menurunkan kekerasan
- b. Menghilangkan tegangan sisa
- c. Memperbaiki sifat mekanik
- d. Memperbaiki mampu mesin dan mampu bentuk
- e. Menghilangkan terjadinya retak panas
- f. Menurunkan dan menghilangkan ketidak homogenan struktur suatu material
- g. Memperhalus ukuran butir
- h. Menghilangkan tegangan dalam dan menyiapkan struktur baja untuk proses perlakuan panas.

Proses *full annealing* menyebabkan struktur logam yang telah mengalami distorsi karena pengerjaan dingin kembali ke sifat semula dengan sedikit dislokasi. Proses *Full annealing* merupakan proses perlakuan panas untuk menghasilkan perlit yang kasar tetapi lunak dengan pemanasan sampai austenisasi dan didinginkan secara lambat di dalam dapur pemanas. Temperatur yang dipilih untuk austenisasi tergantung pada kadar karbon dari baja yang bersangkutan. *Full annealing* untuk baja *hypoeutectoid* dilakukan pada temperatur austenisasi sekitar 25°C–50°C diatas garis  $A_3$  dan untuk baja *hypereutectoid* dilakukan dengan cara memanaskan baja pada temperatur 25°C–50°C diatas garis  $A_1$ . *Full annealing* akan menaikkan kekuatan material, menghaluskan butir-butir kristal dan juga dapat memperbaiki machineability.



**Gambar 2.2** Diagram Full Annealing

## 2.4 Pipa

Pipa adalah saluran tertutup berupa tabung berongga yang berfungsi untuk mengalirkan fluida dari suatu tempat ketempat yang lainnya. Pipa ditinjau dari cara pembuatannya terdiri dari pipa tanpa sambungan (*seamless pipe*) dan Pipa las spiral (*spiral welded pipe*). Pipa tanpa sambungan (*seamless pipe*) adalah pipa yang dibentuk dengan menusuk batang besi silinder untuk menghasilkan lubang pada diameter dalam pipa, sedangkan pipa las spiral (*spiral welded pipe*) adalah pipa yang cara pembentukannya dengan melengkungkan plat baja hingga ujung sisinya saling bertemu untuk kemudian dilakukan pengelasan.



**Gambar 2.3** Pipa

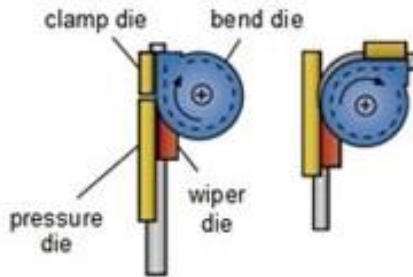
## 2.5 Bending

*Bending* merupakan salah satu bagian dari proses pembentukan. Pada proses pembentukan material yang dikerjakan harus dapat berubah bentuk secara plastis dibawah suatu beban tanpa mengalami gangguan pada keutuhan material tersebut (retak/pecah). Pada proses ini bagian luar dari benda akan mengalami tarikan dan pada bagian dalam akan mengalami tekanan atau pengerutan. Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan ketika akan melakukan proses bending antara lain:

1. Ketebalan material  
Ketebalan material akan mempengaruhi radius bending yang dapat dibentuk dan kemampuan material untuk dapat mengalami peregangan tanpa terjadi distorsi.
2. Metode bending  
Pemilihan prosedur atau metode bending yang tepat sangat berpengaruh pada kualitas produk yang dihasilkan.
3. Ukuran material  
Material yang memiliki ukuran yang besar apabila dilengkungkan dengan radius yang kecil akan mudah mengalami distorsi dibandingkan material dengan ukuran kecil dan dilengkungkan dengan radius bending yang besar.
4. Peralatan pendukung  
Peralatan yang digunakan meliputi cetakan, clamp dan mandrel.

Macam-macam metode *bending* yang digunakan untuk menekuk pipa antara lain:

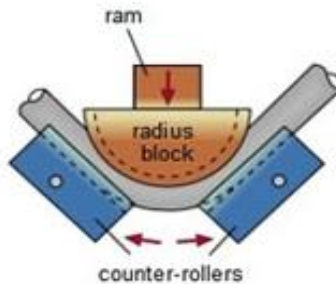
1. *Rotary Draw bending*  
Metode *draw bending* adalah metode yang paling akurat. Cara kerja metode *draw bending* adalah benda yang akan dilakukan bending diapit oleh *bending die* dan dikunci oleh *clamping die* dalam posisinya, kemudian *bending die* diputar sehingga dapat dilakukan proses penekukan benda.



**Gambar 2.4** *Rotary Draw Bending* (Tood, Robert H. 1994)

## 2. *Press bending*

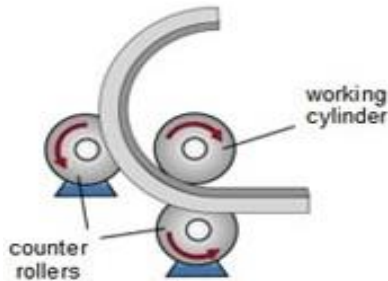
Metode *press bending* atau *compress bending* adalah metode *bending* dengan cara menekan pipa dengan radius block. Cara ini paling sederhana dan murah, pipa ditekan pada dua poin eksternal dan ram mendorong bagian tengah pada pipa. Cara ini cenderung membentuk pipa menjadi oval baik dibagian dalam dan luar lengkungan.



**Gambar 2.5** *Press Bending* (Tood, Robert H. 1994)

## 3. *Roll bending*

Metode roll bending biasanya digunakan untuk membentuk benda kerja dengan radius bending besar. Metode ini menggunakan tiga roller yang disusun membentuk segitiga pada satu poros untuk mendorong dan membengkokkan pipa.



**Gambar 2.6** Roll Bending (Tood, Robert H. 1994)

## 2.6 Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik material adalah kemampuan suatu bahan untuk menerima beban atau gaya tanpa menimbulkan kerusakan pada material tersebut. Untuk mendapatkan sifat mekanik material biasanya dilakukan pengujian mekanik. Pengujian mekanik ini pada dasarnya bersifat merusak (destructive test). Berikut adalah beberapa sifat mekanik yang penting yaitu :

### A. Kekuatan (*Strenght*)

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan material menjadi patah. Berdasarkan pada jenis beban yang bekerja, kekuatan dibagi dalam beberapa macam yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung.

### B. Kekakuan (*stiffness*)

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan atau beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk.

### C. Kekenyalan (*elasticity*)

Merupakan kemampuan material untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan, tetapi apabila tegangan melampaui batas maka perubahan bentuk akan terjadi walaupun beban dihilangkan.

#### **D. Plastisitas (*plasticity*)**

Merupakan kemampuan material untuk mengalami sejumlah deformasi plastis tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Material yang mempunyai plastisitas tinggi dikatakan sebagai material yang ulet (*ductile*), sebaliknya material yang mempunyai plastisitas rendah dikatakan sebagai material yang getas (*brittle*).

#### **E. Keuletan (*ductility*)**

Keuletan (*ductility*) menunjukkan kemampuan material untuk dapat dideformasi tanpa menjadi patah atau retak. Material yang ulet biasanya memiliki sifat yang kuat dan juga lentur.

#### **F. Ketangguhan (*toughness*)**

Merupakan kemampuan material untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan atau bisa dikatakan seberapa besar energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu material.

#### **G. Kegetasan (*brittleness*)**

Merupakan kemampuan sifat bahan yang mempunyai sifat berlawanan dengan keuletan. Kegetasan ini merupakan suatu sifat mudah patah atau retak dari suatu material dengan sedikit pergeseran permanen. Material yang getas atau rapuh ini juga menjadi sasaran pada beban regang, tanpa memberi keregangan yang terlalu besar. Contoh bahan yang memiliki sifat kerapuhan ini yaitu besi cor.

#### **H. Kekerasan (*hardness*)**

Merupakan kemampuan material untuk tahan terhadap goresan, pengikisan (abrasi) dan penetrasi. Sifat ini berkaitan erat dengan sifat keausan (*wear resistance*).

#### **I. Melar (*creep*)**

Merupakan kecenderungan suatu material untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen (*deformasi plastic*) yang besarnya merupakan fungsi

waktu pada saat menerima beban yang besarnya relatif besar.

#### **J. Kelelahan (*fatigue*)**

Merupakan kecenderungan suatu material untuk patah bila menerima tegangan berulang - ulang (*dynamic load*) yang besarnya masih jauh di bawah batas kekuatan elastisnya.

### **2.7 Hardness Test**

Proses pengujian kekerasan dapat diartikan sebagai kemampuan suatu material terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap. Artinya ketika gaya tertentu diberikan pada suatu benda uji dan karena pengaruh pembebanan tersebut benda uji mengalami deformasi. Seberapa besar tingkat kekerasan dari material tersebut dapat dianalisa dari besarnya beban yang diberikan terhadap luas bidang yang menerima pembebanan tersebut. Terdapat beberapa metode pengujian kekerasan yang digunakan untuk menguji kekerasan logam antara lain :

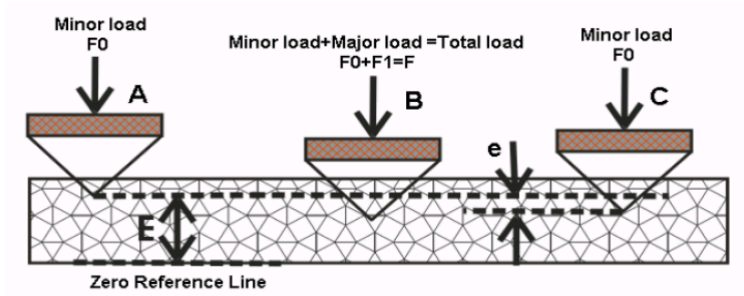
1. Metode Pengujian Kekerasan Brinell
2. Metode Pengujian Kekerasan Vickers
3. Metode Pengujian Kekerasan Rockwell

Pengujian yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah dengan menggunakan metode pengujian kekerasan *Rockwell*.

#### **2.7.1 Pengujian kekerasan *Rockwell***

Pada pengujian kekerasan rockwell, pengukuran kekerasan langsung dilakukan oleh mesin dan mesin langsung menunjukkan angka kekerasan dari material yang diuji. Cara ini lebih cepat dan lebih akurat. Beban dan indenter yang digunakan bervariasi tergantung pada kondisi pengujian. Indenter yang digunakan biasanya berupa bola baja yang dikeraskan dan kerucut intan. Pengujian dilakukan dengan terlebih dahulu memberikan beban minor sebesar

10kg, setelah itu jarum penunjuk diatur pada angka nol skala hitam dan kemudian diberikan beban mayor berkisar antara 60-100kg untuk indenter bola baja dan 150kg untuk indenter kerucut intan.



**Gambar 2.7** Penetrasi *Rockwell* (Chandler, Harry. 1999)

Keterangan :

$F_0$  : Beban awal (kgf)

$F_1$  : Beban tambahan (kgf)

$F$  : Beban total (kgf)

$e$  : Penambahan kedalaman penetrasi

$E$  : Konstanta indenter



**Gambar 2.8** Alat Uji Kekerasan *Rockwell*



Skala pada Rockwell terdiri atas warna merah dan hitam yang didesain untuk mengakomodir pengujian skala B dan C yang sering kali dipakai. Skala warna merah untuk indenter bola sedangkan skala hitam untuk indenter kerucut intan. Skala kekerasan B digunakan untuk pengujian dengan kekerasan medium seperti baja karbon rendah dan baja karbon medium. Sedangkan skala C digunakan untuk mengukur kekerasan logam yang sangat keras. Skala Rockwell terbagi 100 divisi, dimana setiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0,002 mm. Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell ini diatur berdasarkan standar DIN 50103. Adapun standar skala kekerasan metode pengujian Rockwell ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

**Table 2.1** Skala Uji Kekerasan *Rockwell*

Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1,558 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan 120°	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan 120°	10	90	100	100	Hitam
E	Bola baja 3,175 mm (1/8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola baja 1,558 mm	10	50	60	130	Merah
G	Bola baja 1,558 mm	10	140	150	130	Merah
H	Bola baja 3,175 mm	10	50	60	130	Merah
K	Bola baja 3,175 mm	10	140	150	130	Merah
L	Bola baja 6,35 mm (1/4")	10	50	60	130	Merah
M	Bola baja 6,35 mm	10	90	100	130	Merah
P	Bola baja 6,35 mm	10	140	150	130	Merah
R	Bola baja 12,7 mm (1/2")	10	50	60	130	Merah
S	Bola baja 12,7 mm	10	90	100	130	Merah
V	Bola baja 12,7 mm	10	140	150	130	Merah

## 2.8 *Metalography Test*

Ilmu logam secara garis besar dibagi menjadi 2 yaitu metalurgi dan metalography. Metalurgi yaitu ilmu yang mempelajari tentang perpaduan logam dengan unsur-unsur tertentu seperti titanium, copper yang bertujuan untuk memperkuat atau menambah ketangguhan logam, yang digunakan untuk berbagai kebutuhan khusus seperti engine blok piston dll. Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optik dan mikroskop electron dengan perbesaran 50 – 3000 kali. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu. Pengujian metalography dibagi menjadi dua jenis yaitu pengujian makro dan pengujian mikro.

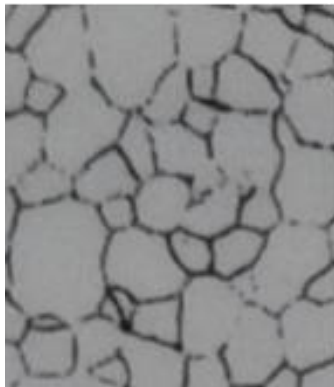
Pada penelitian kali ini akan dilakukan pengujian struktur mikro pada pipa bending sebelum dan sesudah di heat treatment. Adapun beberapa tahapan yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian struktur mikro adalah:

- Pemotongan spesimen  
Pemotongan ini dilakukan sesuai dengan bagian spesimen yang akan diamati struktur mikronya. Spesimen uji dipotong sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan sebelumnya.
- Grinding  
Pada tahap ini dilakukan untuk menghaluskan dan meratakan permukaan spesimen uji yang ditujukan untuk menghilangkan goresan akibat dari proses pemotongan. Grinding dilakukan secara bertahap dari ukuran yang paling kasar sampai yang paling halus.
- Polishing (pemolesan)  
Pada tahap ini bertujuan untuk menghasilkan spesimen yang mengkilap bebas dari goresan.

Polishing dilakukan dengan menggunakan kain yang telah diolesi autosol. Untuk mendapatkan hasil yang baik maka dalam melakukan pemolesan sebaiknya dilakukan pada satu arah agar tidak terjadi goresan.

- Etsa (*etching*)  
Proses etsa ini pada dasarnya adalah proses korosi yang tujuannya untuk mengkorosikan permukaan spesimen agar struktur mikro logam dapat terlihat jelas ketika diamati dengan menggunakan mikroskop.

Berikut adalah macam-macam struktur mikro beserta penjelasannya :



**Gambar 2.9** Ferrit (G. Petzow, 1999)

Ferrit yaitu larutan padatan interstisial karbon dalam besi  $\alpha$  dengan kadar karbon 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar. Berbentuk butir-butir kristal yang padat. Berwarna putih terang, kekerasan dari ferit berkisar antara 140 - 180 HVN (Vicker Hardness Number). Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi annealing).



**Gambar 2.10** Pearlite (G. Petzow, 1999)

Pearlite yaitu suatu eutectoid mixture dari cementite dan ferrite terdiri dari lapisan  $\alpha$ -ferrit (88%) dan cementite (12%) dengan kadar karbon 0,8%. Berbentuk pipih atau berlapis. Berwarna kehitaman. Sifat mekanis lunak.



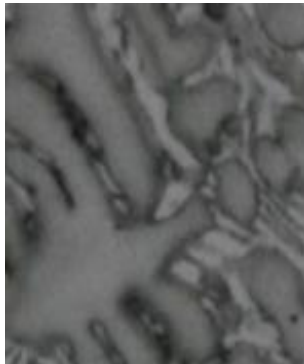
**Gambar 2.11** Austenite (G. Petzow, 1999)

Austenite yaitu larutan padat interstisial karbon dalam besi  $\gamma$  dengan kadar karbon 2%. Berbentuk padatan seperti plat, berwarna abu-abu terang. Mempunyai struktur kristal FCC (*Face Cetered Cubic*). Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi besi murni).



**Gambar 2.12** Ledeburite (G. Petzow, 1999)

Ledeburite yaitu suatu eutectic mixture dari austenite dan cementite dengan kadar karbon 4,3%. Berbentuk berbutir-butir. Berwarna putih dengan bintik-bintik hitam. Sifat mekanis keras.



**Gambar 2.13** Cementite (G. Petzow, 1999)

Cementite yaitu karbida besi  $\text{Fe}_3\text{C}$  merupakan senyawa interstisial dengan kadar karbon 6,67%. Berbentuk jaringan (network). Berwarna putih. Sifat mekanis sangat keras dan getas.



**Gambar 2.14** Bainite (G. Petzow, 1999)

Bainite yaitu acicular mikro yang berbentuk pada baja pada suhu sekitar 250-550°C dengan kadar karbon <0,5%. Berbentuk jarum-jarum acicular yang tidak sejajar satu sama lain. Berwarna abu-abu gelap. Sifat mekanis sangat keras dan getas.

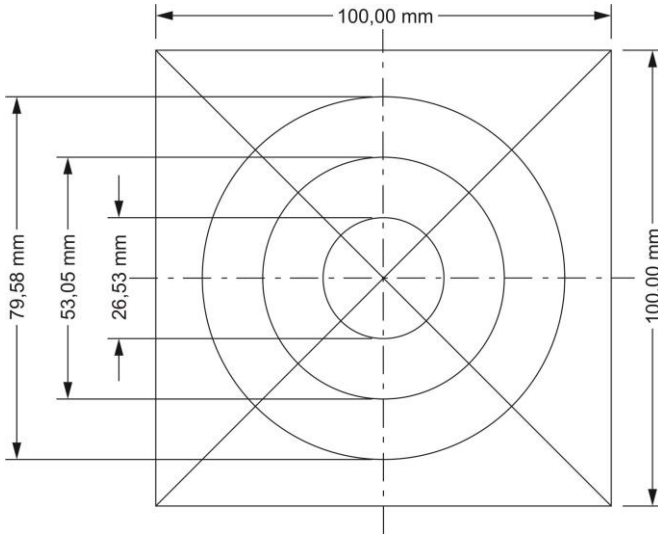


**Gambar 2.15** Martensite (G. Petzow, 1999)

Martensite yaitu struktur metastabil yang terbentuk karena proses pendinginan yang cepat atau sangat cepat pada temperatur austenitisasinya dengan kadar karbon >0,5%. Berbentuk jarum-jarum pendek. Berwarna hitam pekat. Sifat mekanis sangat keras.

### 2.8.1 Menghitung Besar Butir

Ukuran dari suatu butiran akan mempengaruhi kekuatan dari suatu material. sebagai contoh butir A dengan butir B memiliki orientasi pergerakan yang berbeda. Jika dislokasi bergerak searah dengan pergerakan butir A, maka ketika dislokasi tadi bergerak kearah butir B akan terlebih dahulu menabrak bagian batas butir untuk kemudian mengubah arah orientasinya mengikuti butir B. Oleh karena itu batas butir dapat diartikan sebagai penghalang (*barrier*). Material dengan ukuran butir yang lebih kecil memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan material dengan ukuran butir besar.



**Gambar 2.16** Garis Bantu Intercept Counting ASTM E112

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

Keterangan

G : Grain Size Number

$L_T$  : Total panjang garis yang terkena batas butir (mm)

N : Jumlah titik potong batas butir yang terkena garis

M : Total perbesaran mikroskop

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

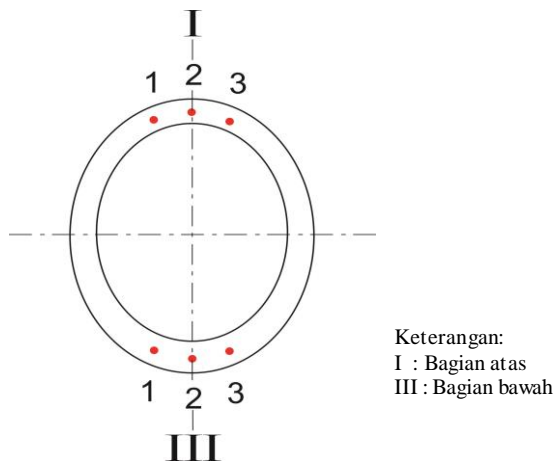
#### **3.1 Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium metalurgi D3 Teknik Mesin Industri ITS, dengan penekanan pada pengujian kekerasan dan metalografi.

#### **3.2 Material dan Dimensi Spesimen**

Bahan yang dipilih dalam penelitian ini adalah baja SA 179 dengan kadar karbon 0,09% C. Baja SA 179 ini dibentuk menjadi spesimen uji kekerasan dan uji metalografi.

##### **3.2.1 Spesimen Uji Kekerasan**

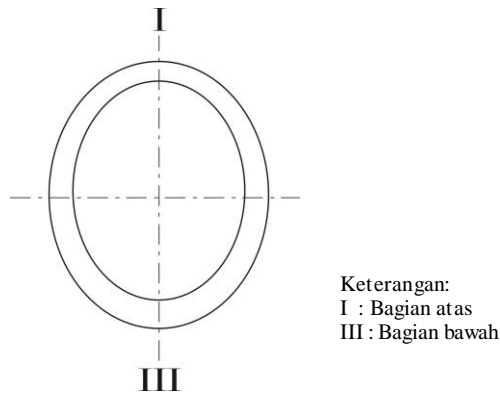


**Gambar 3.1** Spesimen Uji Kekerasan.

Spesimen uji kekerasan berjumlah 7 buah yang terdiri dari 4 buah spesimen nonheat treatment dan 3 buah spesimen heat treatment



### 3.2.2 Spesimen Uji Metalografi



**Gambar 3.2** Spesimen Uji Metalografi

Spesimen uji metalografi berjumlah 7 buah yang terdiri dari 4 buah spesimen nonheat treatment dan 3 buah spesimen heat treatment.

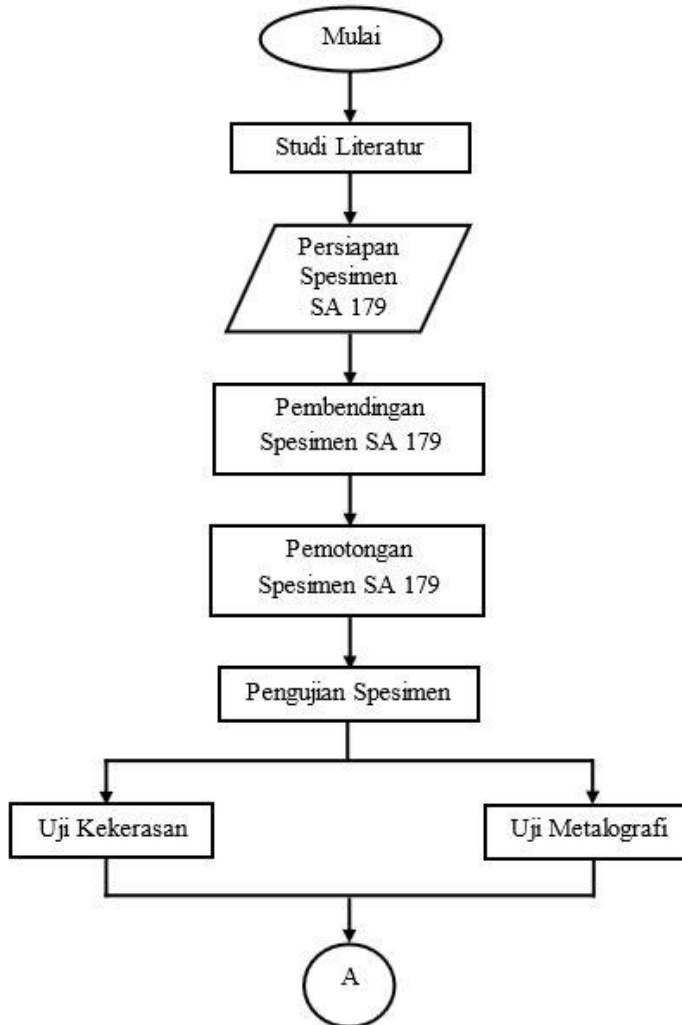
### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian kali ini antara lain:

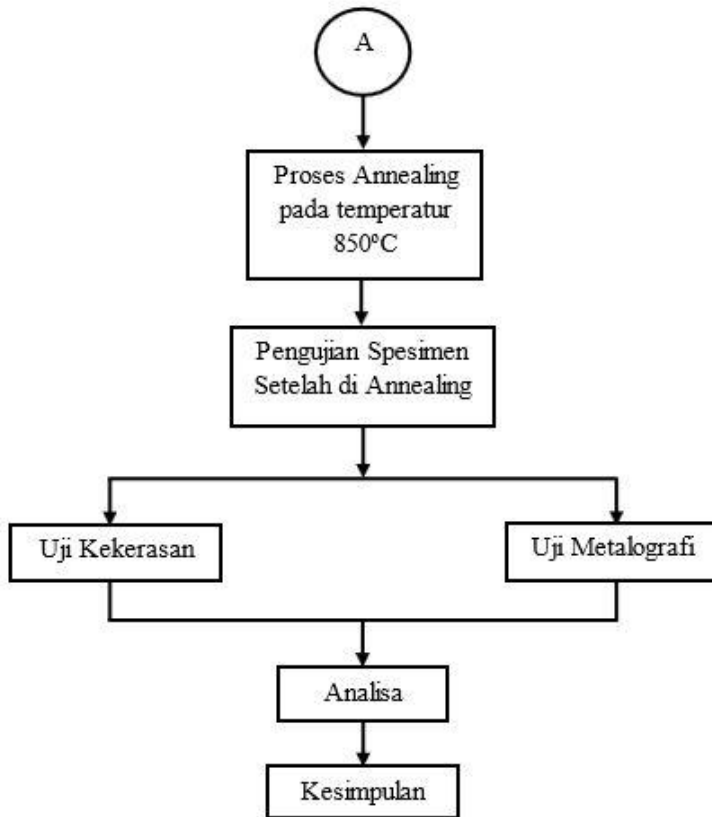
- 1) Variabel bebas  
Variabel bebas dari penelitian kali ini adalah proses annealing
- 2) Variabel terikat  
Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kekerasan dan struktur mikro baja SA 179 sebelum dan sesudah mengalami proses annealing
- 3) Variabel kontrol  
Variabel kontrol adalah faktor lain diluar variabel penelitian yang diteliti, tetapi dapat mempengaruhi hasil penelitian. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah operator dan alat pengujian.

### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Urutan pelaksanaan penelitian ini secara jelas dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini.



**Gambar 3.3** Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.4** Diagram Alir Penelitian ( Lanjutan )

### 3.5 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan spesimen terlebih dahulu dan melakukan pengujian terhadap spesimen tersebut. Untuk pembuatan spesimen uji dan proses bending dilakukan di PT.Dinamika Energitama Nusantara, sedangkan pelaksanaan pengujian spesimen dilakukan di laboratorium metalurgi D3 Teknik Mesin Industri ITS pada bulan Mei sampai dengan Juni 2017.

### 3.6 Prosedur Penelitian

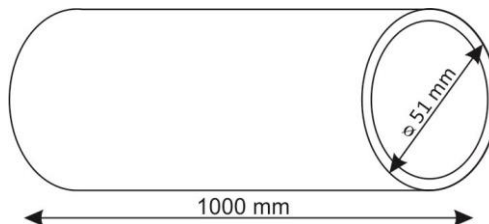
Dalam pelaksanaan penelitian kali ini langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur tentang pengaruh proses bending terhadap pipa serta perlakuan panas yaitu anealing untuk mengurangi tegangan sisa akibat pengerjaan dingin (bending), kemudian dilakukan perlakuan panas serta pengujian untuk mengetahui perubahan kekerasan dan struktur mikro pada benda kerja. Untuk memperjelas, berikut tahapan tahapan yang akan dilakukan.

#### 3.6.1 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan dengan cara mencari dan mempelajari buku-buku, jurnal, laporan tugas akhir alumni ITS maupun dari institusi lain yang berkaitan dengan rumusan masalah yang digunakan sebagai acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

#### 3.6.2 Persiapan material

Material yang digunakan adalah pipa baja SA 179 seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini



Panjang : 1000 mm  
Diameter luar :  $\varnothing 51 \text{ mm}$   
Diameter dalam :  $\varnothing 45 \text{ mm}$   
Tebal : 2,9 mm

**Gambar 3.5** Dimensi Material



**Gambar 3.6** Pipa Material SA 179

Material SA 179 ini memiliki kandungan komposisi kimia dan sifat mekanik seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1 dan tabel 3.2

**Tabel 3.1** Komposisi Kimia Material SA 179

C	P	Mn	S	Cr
0.09	0.028	0.58	0.025	0.07

**Tabel 3.2** Sifat Mekanik Material SA 179

Yield Strength (Mpa)	Tensile Strength (Mpa)	Hardness (HRB)
210	350	62

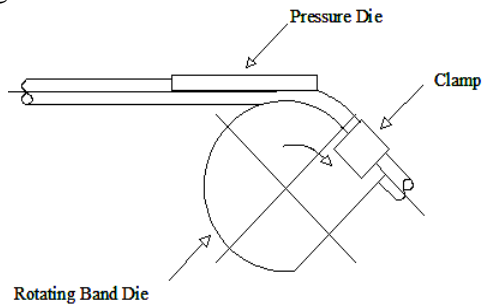
### 3.6.3 Persiapan alat

Adapun peralatan yang digunakan selama penelitian antara lain sebagai berikut:

1. Mesin gerinda
2. Gergaji
3. Dapur pemanas
4. Mesin uji kekerasan rockwell
5. Mikroskop
6. Jangka sorong

### 3.6.4 Proses bending

Proses bending pipa dilakukan di PT. Dinamika Energitama Nusantara. Pipa dibengkokan dengan sudut  $180^\circ$  dan radius sebesar 70mm menggunakan proses rotary draw bending.



**Gambar 3.7** Skema Proses Bending (Tood, Robert H. 1994)



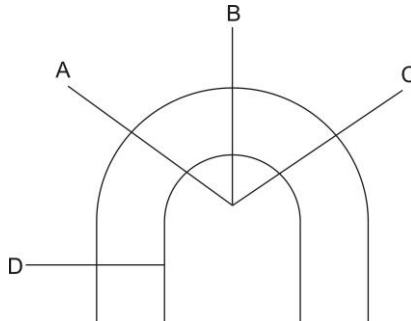
**Gambar 3.8** Proses Pembendungan



**Gambar 3.9** Benda kerja hasil bending

### 3.6.5 Pemotongan Spesimen Uji

Setelah selesai dibending maka pipa hasil bending dipotong sesuai ukuran spesimen uji. Pemotongan dilakukan dengan mesin gergaji dan dihaluskan dengan gerinda. Skema pemotongan spesimen ditunjukkan pada gambar dibawah ini



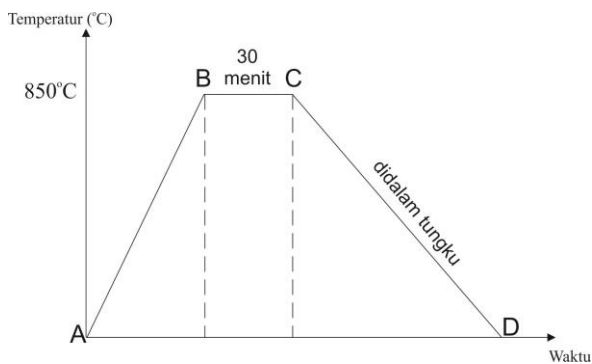
**Gambar 3.10** Skema Pemotongan Spesimen

### 3.6.6 Perlakuan Panas

Perlakuan panas (*Heat Treatment*) diawali dengan persiapan spesimen dan dapur pemanas. Spesimen hasil proses bending dipanaskan pada temperatur  $850^{\circ}\text{C}$ , tujuannya ialah untuk mengetahui pengaruh heat treatment terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro pada pipa bending.



**Gambar 3.11** Alat Oven



**Gambar 3.12** Diagram Proses Perlakuan Panas

**Keterangan**

A-B : Proses pemanasan awal hingga temperatur 850 °C

B-C : Waktu tahan (Holding Time)

C-D : Proses pendinginan lambat

Material SA 179 dimasukkan kedalam oven, dipanaskan sampai temperatur 850°C selama 150 menit kemudian ditahan pada temperatur 850°C selama 30 menit. Setelah itu dilakukan pendinginan lambat dengan cara mendinginkan spesimen didalam tungku pemanas.



### 3.6.7 Pengujian Spesimen

Dalam penelitian ini, pengujian spesimen yang dilakukan adalah uji kekerasan (*Hardness test*) dan uji metalografi (*Metalography test*)

#### 1) Uji Kekerasan (*Hardness test*)

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui perubahan kekerasan spesimen sebelum dan sesudah dilakukan heat treatment pada spesimen hasil proses bending. Pada pengujian kekerasan kali ini jumlah spesimen yang diuji sebanyak 7 buah spesimen dengan menggunakan metode pengujian kekerasan Rockwell.



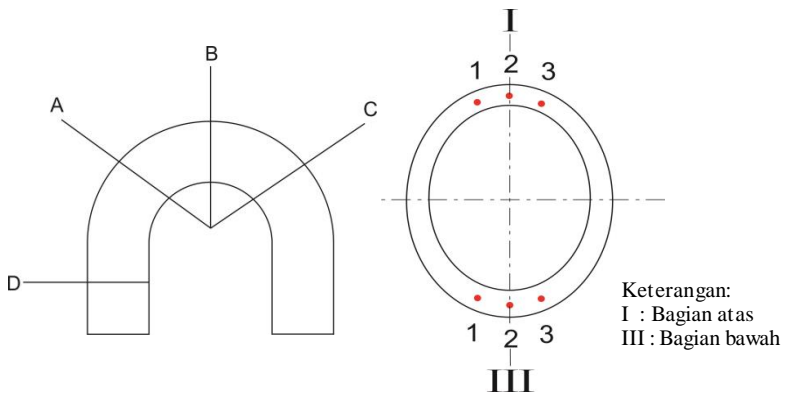
**Gambar 3.13** Alat Uji Kekerasan Rockwell

Spesifikasi Alat Uji kekerasan:

Merk	: AFFRI Seri 206.RT – 206.RTS
Loading	: Maximum 150 KP Minimum 60 KP
Hrc Load	: 150 KP
Indentor	: Kerucut intan 120°
Hrb Load	: 100 KP
Indentor	: Bola Baja



**Gambar 3.14** Spesimen Uji Kekerasan



**Gambar 3.15** Lokasi Indentasi Uji Kekerasan.

## 2) Uji Metalografi

Pengujian metalography dilakukan sesuai dengan standar ASTM E112. Pengambilan foto struktur mikro dilakukan pada daerah pipa yang mengalami bending dengan perbesaran 500x. Spesimen yang digunakan untuk uji metalografi sama dengan spesimen yang digunakan untuk pengujian kekerasan. Sebelum dilakukan pengamatan struktur mikro, maka perlu dilakukan beberapa persiapan terhadap spesimen uji diantaranya :

- Pemotongan material untuk dijadikan spesimen metalografi
- Spesimen uji diampas dengan menggunakan amplas dari grade kasar sampai yang paling halus
- Spesimen dipolishing dengan menggunakan kain yang telah diolesi autosol. Pada tahap ini bertujuan untuk menghasilkan spesimen yang mengkilap bebas dari goresan.
- Spesimen dicuci menggunakan alkohol kemudian lakukan proses penetsaan. Tujuan dari proses etsa ini agar struktur mikro logam dapat terlihat jelas ketika diamati dengan menggunakan mikroskop.
- Cuci kembali spesimen dengan menggunakan air mengalir dan bersihkan dengan alkohol lalu keringkan dengan menggunakan alat pengering.
- Spesimen siap dilakukan pengamatan struktur mikro.

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Setelah dilakukan pengujian maka akan didapat data-data berupa angka, tabel, gambar grafik dan foto struktur mikro dari material SA 179. Dari data-data tersebut kemudian dilakukan analisa dan pembahasannya.

#### **4.1 Parameter Annealing**

**Tabel 4.1** Spesifikasi Material

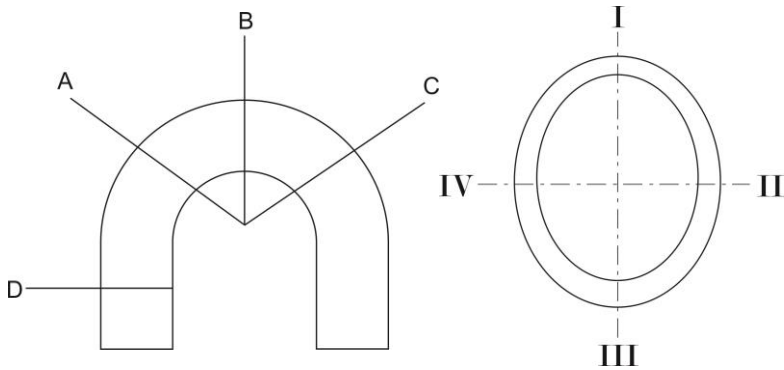
NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	SA 179
Tebal	2,9 mm
Diameter out	ø50,8 mm
Radius bending	70 mm

**Tabel 4.2** Parameter Perlakuan Panas

Proses	Annealing
Temperatur pemanasan	850 °C
Lama pemanasan	150 menit
Holding time	30 menit
Pendinginan	Didalam tungku

## 4.2 Pengukuran Tebal Pipa

Pengukuran ketebalan pipa dilakukan karena proses pembungkakan pada pipa mengakibatkan pipa mengalami perubahan ketebalan. Lokasi pengukuran ketebalan spesimen ditunjukkan seperti pada gambar dibawah ini.



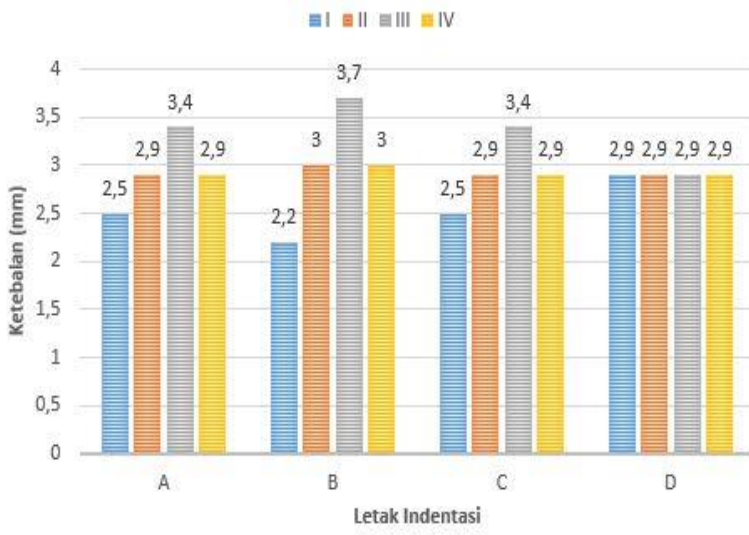
**Gambar 4.1** Lokasi Pengukuran Ketebalan Pipa



**Gambar 4.2** Spesimen Pengukuran Ketebalan

**Tabel 4.3** Nilai Perbandingan Ketebalan Pipa

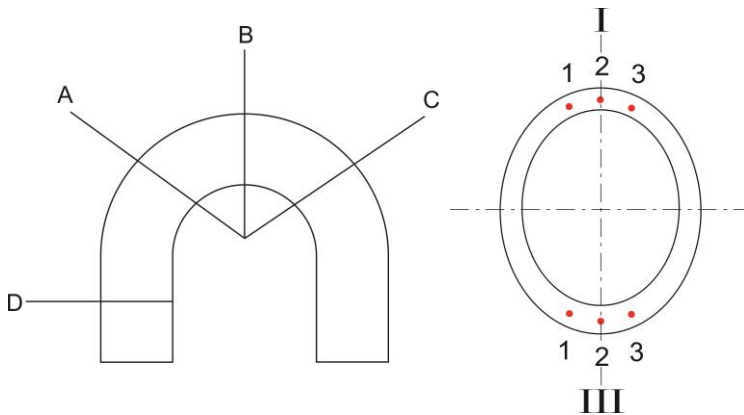
Bidang		Tebal Pipa (mm)
A	I	2,5
	II	2,9
	III	3,4
	IV	2,9
B	I	2,2
	II	3
	III	3,7
	IV	3
C	I	2,5
	II	2,9
	III	3,4
	IV	2,9
D	I	2,9
	II	2,9
	III	2,9
	IV	2,9



**Gambar 4.3** Grafik Perbandingan Ketebalan Pipa

#### 4.3 Hardness Test ( Uji Kekerasan )

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui perubahan kekerasan spesimen sebelum dan sesudah dilakukan heat treatment pada spesimen hasil proses pembengkokan. Pada pengujian kekerasan kali ini menggunakan metode pengujian kekerasan Rockwell. Lokasi indentasi pada uji kekerasan ini ditunjukkan seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.4** Lokasi Indentasi pada Uji Kekerasan

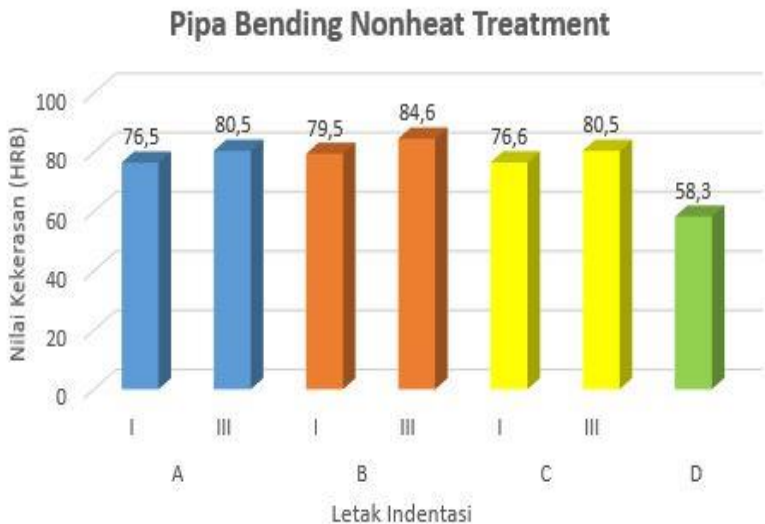


**Gambar 4.5** Spesimen uji kekerasan

**Tabel 4.4** Nilai Kekerasan untuk Pipa Non Treatment

Bidang		Titik Indentasi			Rata rata (HRB)
		1	2	3	
A	I	76,5	77	76	76,5
	III	80	81	80,5	80,5
B	I	79	80	79,5	79,5
	III	84	85	85	84,6
C	I	76	77	77	76,6
	III	80,5	81	81	80,5
D		58	59	58	58,3

Berdasarkan data dari tabel diatas, maka dapat diperoleh grafik sebagai berikut.



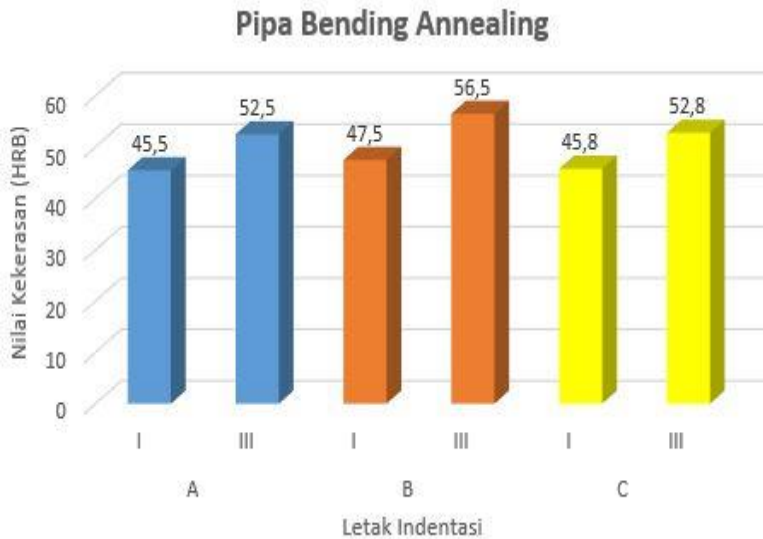
**Gambar 4.6** Grafik Nilai Kekerasan Pipa Bending tanpa Annealing



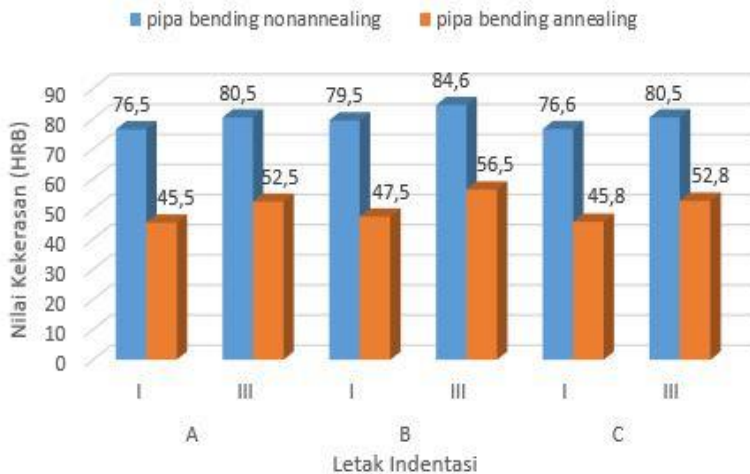
**Tabel 4.5** Nilai Kekerasan untuk Pipa Bending Annealing

Bidang		Titik Indentasi			Rata rata (HRB)
		1	2	3	
A	I	45	46	45,5	45,5
	III	52	53	52,5	52,5
B	I	47	48	47,5	47,5
	III	56	57	56,5	56,5
C	I	45,5	46	46	45,8
	III	52,5	53	53	52,8

Berdasarkan data dari tabel diatas, maka dapat diperoleh grafik sebagai berikut.



**Gambar 4.7** Grafik Nilai Kekerasan Pipa Bending Annealing

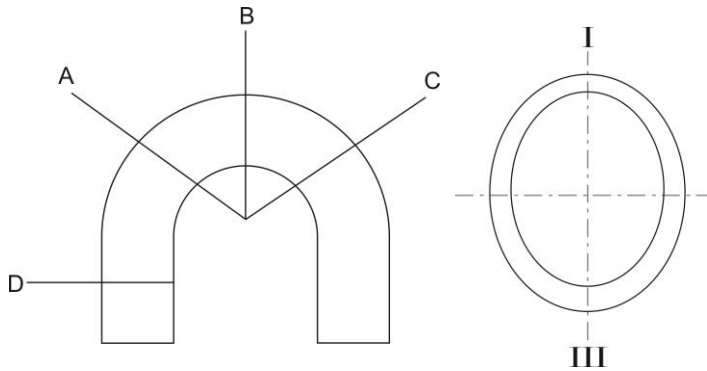


**Gambar 4.8** Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Rata-rata

Berdasarkan tabel dan grafik rata-rata uji kekerasan, diketahui bahwa nilai kekerasan pada pipa bending yang telah di annealing nilai kekerasannya lebih rendah daripada pipa bending sebelum di annealing. Nilai rata-rata pipa bending sebelum dan sesudah dilakukan proses annealing yang paling tinggi terdapat pada daerah tengah pipa bagian bawah (B-III), sedangkan nilai rata-rata kekerasan yang paling rendah terdapat pada daerah ujung pipa bagian atas (A-I).

#### 4.4 Metallography Test ( Uji Metalografi)

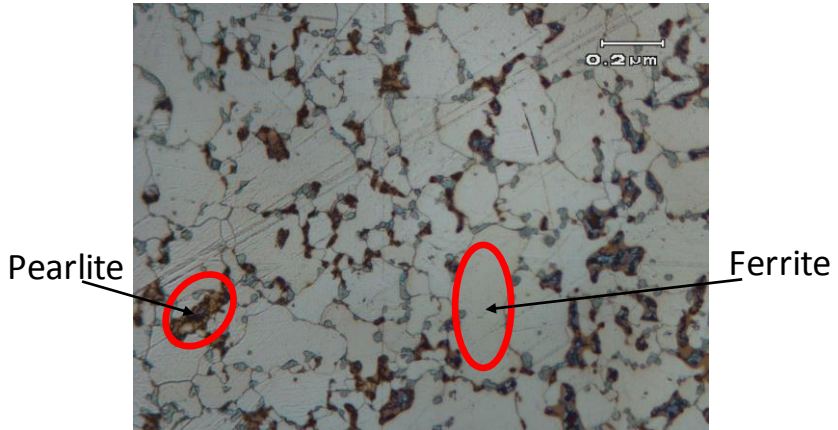
Pengujian Metalography bertujuan untuk mengamati struktur mikro dari pipa bending sebelum dan sesudah dilakukan proses annealing dengan menggunakan mikroskop cahaya. Spesimen yang digunakan untuk uji metalografi sama dengan spesimen yang digunakan untuk pengujian kekerasan. Untuk memudahkan menentukan presentase struktur mikro diperlukan penggambaran garis-garis bantu pada hasil foto uji metalografi. Lokasi pengamatan struktur mikro pada spesimen SA 179 ditunjukkan seperti pada gambar di bawah ini.



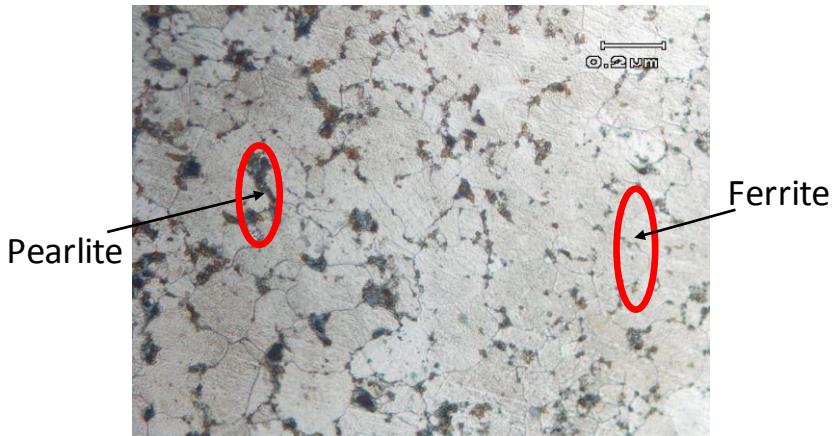
**Gambar 4.9** Lokasi Pengujian Struktur Mikro

Uji metalografi ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop dengan perbesaran 500x dan didapatkan hasil sebagai berikut.

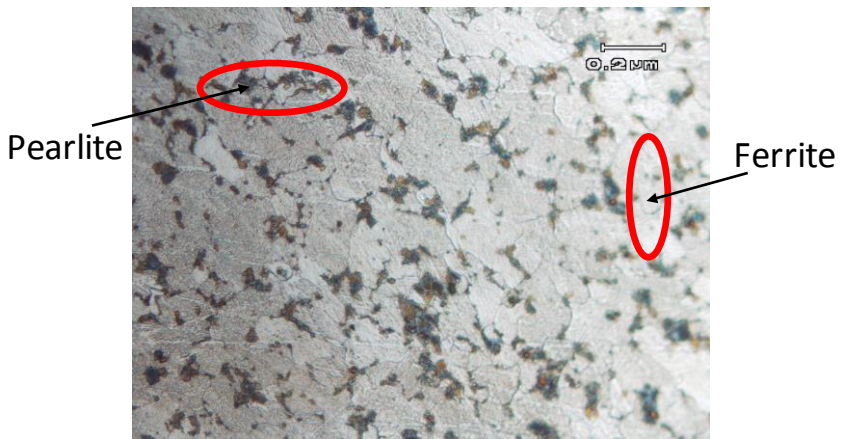
a) Material nonheat treatment



**Gambar 4.10** Struktur Mikro Spesimen D



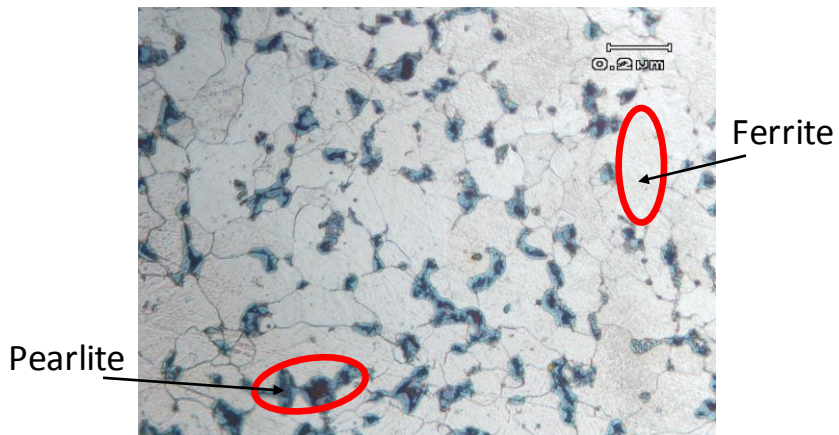
**Gambar 4.11** Struktur Mikro Spesimen A-I



**Gambar 4.12** Struktur Mikro Spesimen A-III



**Gambar 4.13** Struktur Mikro Spesimen C-I



**Gambar 4.14** Struktur Mikro Spesimen C-III



**Gambar 4.15** Struktur Mikro Spesimen B-I



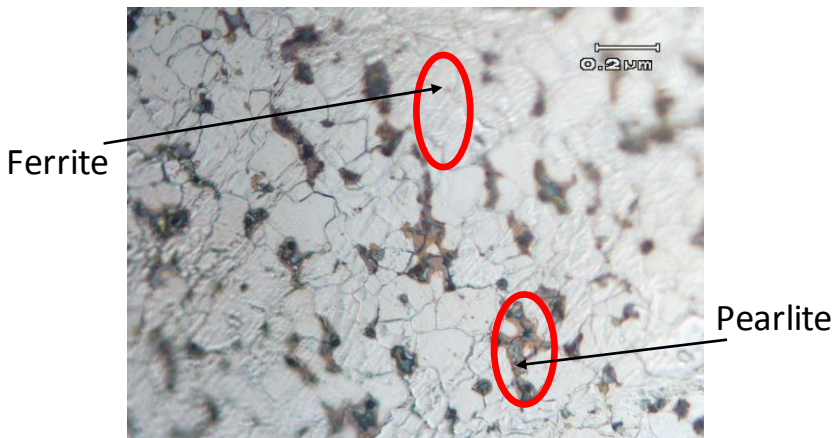
**Gambar 4.16** Struktur Mikro Spesimen B-III



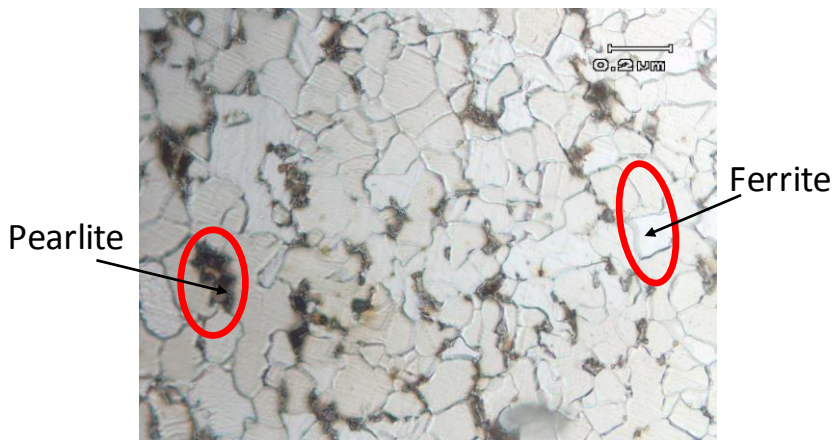
b) Material Annealing



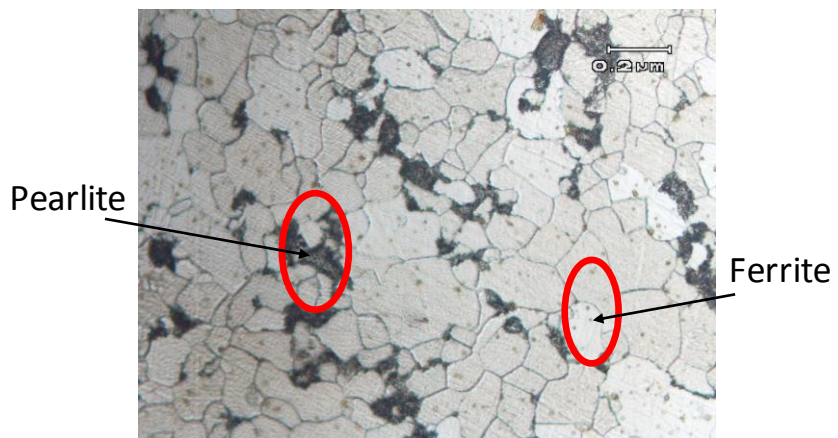
**Gambar 4.17** Struktur Mikro Spesimen A-I



**Gambar 4.18** Struktur Mikro Spesimen A-III

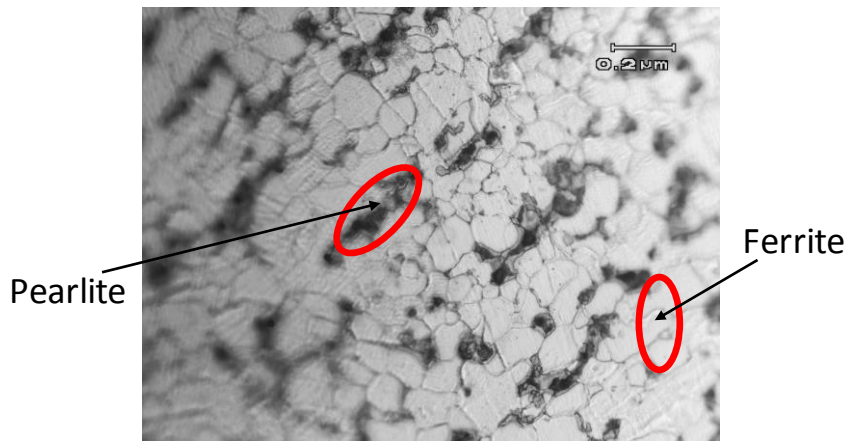


**Gambar 4.19** Struktur Mikro Spesimen C-I

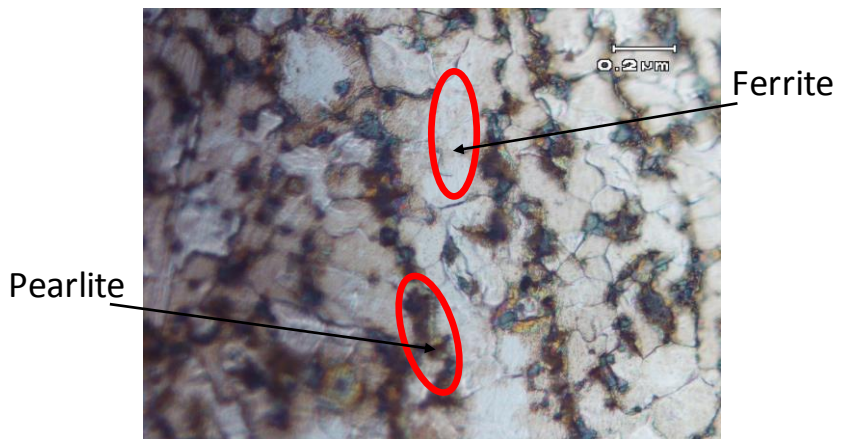


**Gambar 4.20** Struktur Mikro Spesimen C-III





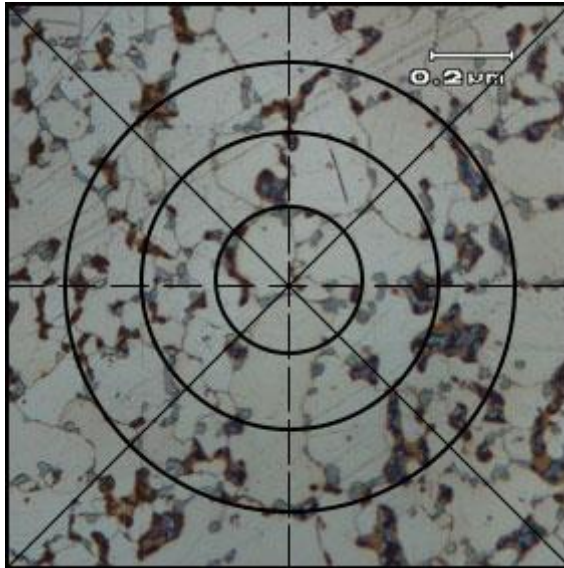
**Gambar 4.21** Struktur Mikro Spesimen B-I



**Gambar 4.22** Struktur Mikro Spesimen B-III

## 4.5 Menghitung Besar Butir

a). Spesimen nonheat treatment



**Gambar 4.23** Struktur Mikro Spesimen D

$$\begin{aligned} G &= \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298 \\ &= \left( -6,645 \log \frac{500}{60 \times 500} \right) - 3,298 \\ &= 8,51 \end{aligned}$$

$$D_{AVG} = 0,0189\text{mm}$$



**Gambar 4.24** Struktur Mikro Spesimen A-I

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

$$G = \left( -6,645 \log \frac{500}{29 \times 500} \right) - 3,298$$

$$= 6,41$$

$$D_{AVG} = 0,0378 \text{ mm}$$



**Gambar 4.25** Struktur Mikro Spesimen A-III

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

$$= \left( -6,645 \log \frac{500}{36 \times 500} \right) - 3,298$$

$$= 7,04$$

$$D_{AVG} = 0,0318\text{mm}$$



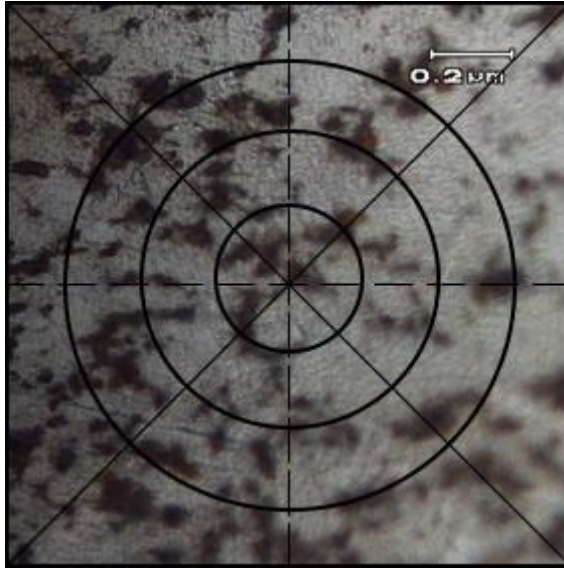
**Gambar 4.26** Struktur Mikro Spesimen B-I

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

$$= \left( -6,645 \log \frac{500}{42 \times 500} \right) - 3,298$$

$$= 7,48$$

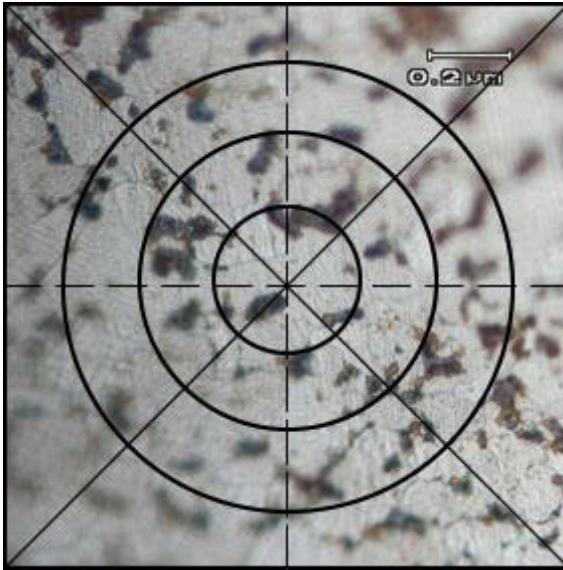
$$D_{AVG} = 0,0267 \text{ mm}$$



**Gambar 4.27** Struktur Mikro Spesimen B-III

$$\begin{aligned}
 G &= \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298 \\
 &= \left( -6,645 \log \frac{500}{51 \times 500} \right) - 3,298 \\
 &= 8,04
 \end{aligned}$$

$$D_{AVG} = 0,0225\text{mm}$$



**Gambar 4.28** Struktur Mikro Spesimen C-I

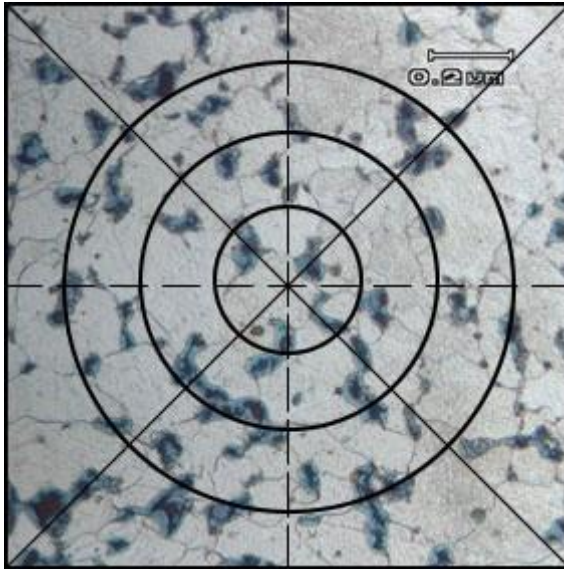
$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

$$= \left( -6,645 \log \frac{500}{30 \times 500} \right) - 3,298$$

$$= 6,51$$

$$D_{AVG} = 0,0378\text{mm}$$





**Gambar 4.29** Struktur Mikro Spesimen C-III

$$\begin{aligned}
 G &= \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298 \\
 &= \left( -6,645 \log \frac{500}{37 \times 500} \right) - 3,298 \\
 &= 7,12
 \end{aligned}$$

$$D_{AVG} = 0,0318\text{mm}$$



b). Spesimen Annealing



**Gambar 4.30** Struktur Mikro Spesimen A-I

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

$$= \left( -6,645 \log \frac{500}{26 \times 500} \right) - 3,298$$

$$= 6,10$$

$$D_{AVG} = 0,0449\text{mm}$$



**Gambar 4.31** Struktur Mikro Spesimen A-III

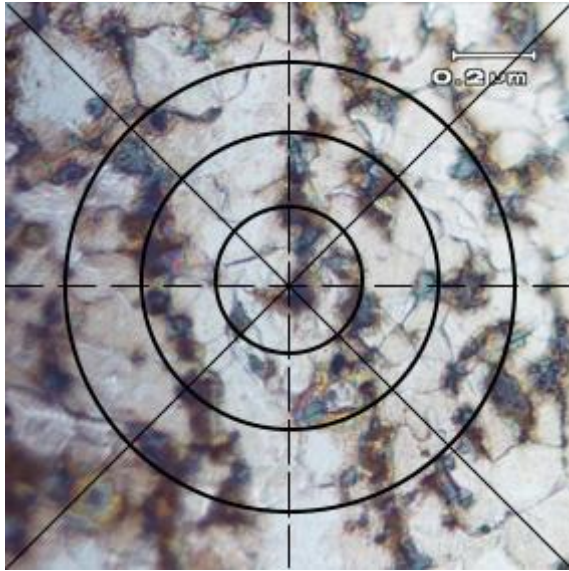
$$\begin{aligned}
 G &= \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298 \\
 &= \left( -6,645 \log \frac{500}{29 \times 500} \right) - 3,298 \\
 &= 6,41 \\
 D_{AVG} &= 0,0336\text{mm}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.32** Struktur Mikro Spesimen B-I

$$\begin{aligned}
 G &= \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298 \\
 &= \left( -6,645 \log \frac{500}{36 \times 500} \right) - 3,298 \\
 &= 7,04
 \end{aligned}$$

$$D_{AVG} = 0,0318\text{mm}$$



**Gambar 4.33** Struktur Mikro Spesimen B-III

$$\begin{aligned}
 G &= \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298 \\
 &= \left( -6,645 \log \frac{500}{41 \times 500} \right) - 3,298 \\
 &= 7,41
 \end{aligned}$$

$$D_{AVG} = 0,0267\text{mm}$$



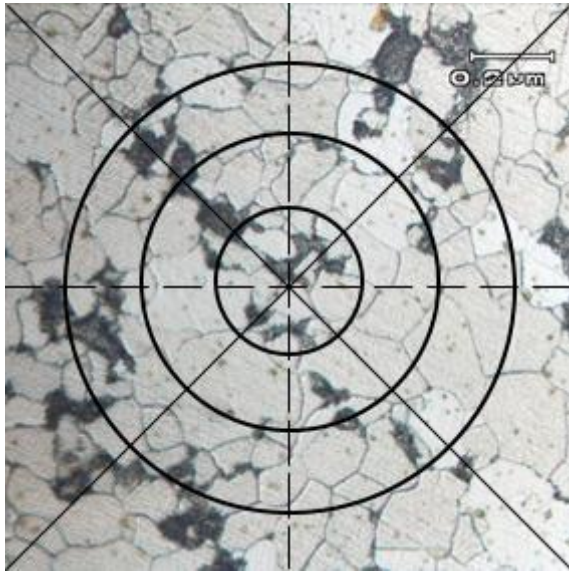
**Gambar 4.34** Struktur Mikro Spesimen C-I

$$G = \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298$$

$$= \left( -6,645 \log \frac{500}{27 \times 500} \right) - 3,298$$

$$= 6,21$$

$$D_{AVG} = 0,0449 \text{ mm}$$



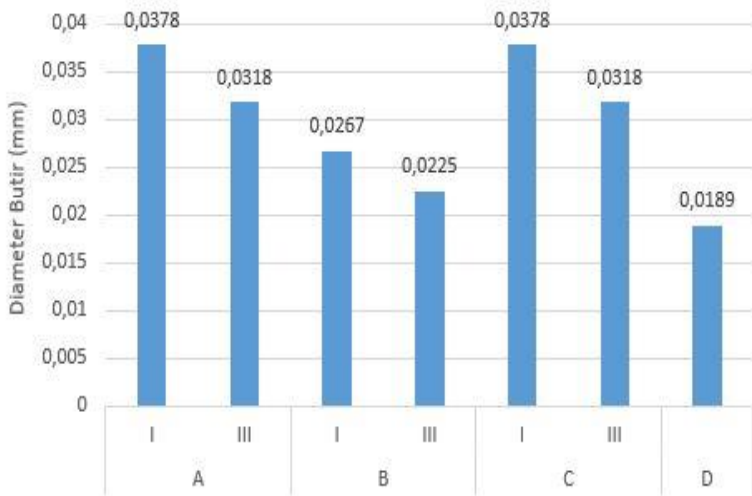
**Gambar 4.35** Struktur Mikro Spesimen C-III

$$\begin{aligned}
 G &= \left( -6,645 \log \frac{L_T}{N \times M} \right) - 3,298 \\
 &= \left( -6,645 \log \frac{500}{31 \times 500} \right) - 3,298 \\
 &= 6,61
 \end{aligned}$$

$$D_{AVG} = 0,0378\text{mm}$$

**Tabel 4.6** Ukuran Batas Butir Pipa Bending Nonheat Treatment

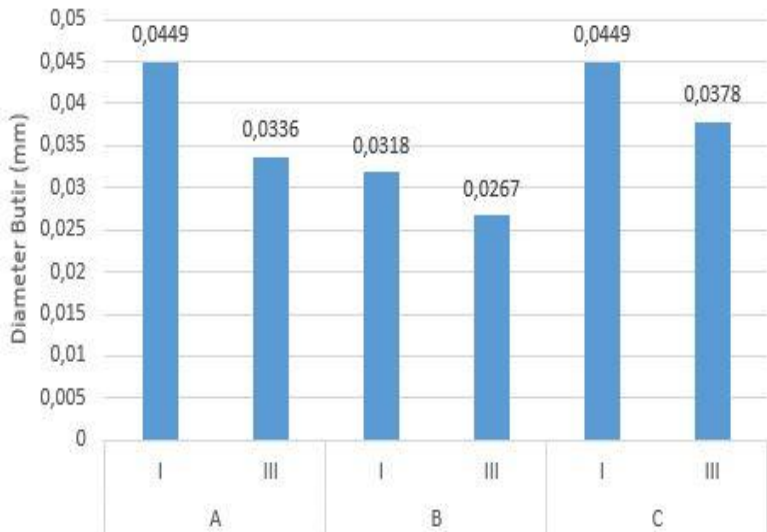
Spesimen		Diameter Butir (mm)
A	I	0,0378
	III	0,0318
B	I	0,0267
	III	0,0225
C	I	0,0378
	III	0,0318
D		0,0189



**Gambar 4.36** Grafik Batas Butir Pipa Bending Nonheat Treatment

**Tabel 4.7** Ukuran Batas Butir Pipa Bending Annealing

Spesimen		Diameter Butir
A	I	0,0449
	III	0,0336
B	I	0,0318
	III	0,0267
C	I	0,0449
	III	0,0378



**Gambar 4.37** Grafik Batas Butir Pipa Bending Annealing



***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Proses *annealing* dapat menurunkan nilai kekerasan pada pipa yang telah dibengkokan. Nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada daerah tengah pipa yang merupakan puncak dari pembengkokan dan mengalami deformasi plastis paling tinggi.
2. Proses *annealing* pada pipa yang telah dibengkokan mempunyai struktur mikro berupa ferrit dan pearlit. Perlakuan *annealing* menyebabkan ukuran butir menjadi lebih besar dan seragam daripada spesimen sebelum diannealing dimana ukuran butirnya lebih kecil.

#### **5.2 Saran**

Beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut:

1. Perlakuan panas pada penelitian ini hanya dilakukan pada temperatur tertentu sehingga perlu dilakukan penelitian serupa dengan variasi temperatur perlakuan panas untuk memperoleh data yang lebih akurat.
2. Pada penelitian ini hanya menggunakan radius bending tertentu saja sehingga perlu dilakukan penelitian serupa dengan variasi radius bending yang berbeda untuk memperoleh data yang lebih akurat.

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

## DAFTAR PUSTAKA

1. American Society of Mechanical Engineers Section II, 2010, *Ferrous Material Specifications*.
2. Emoto, Kanji. 2000. *Speciality Pipe And Tube For Boiler And Petrochemical Plant*.
3. ASM Handbook Vol. 1, 8th edition. 2005. *Properties and Selection Irons, Steels dan High-Performance Alloys*.
4. Callister, William D Jr. 2007. *An Introduction Material Science and Engineering, 7th edition*
5. Widiyono, Eddy. 2014. *Teori Dan Praktikum Ilmu Bahan*. Surabaya: Program Studi D3 Teknik Mesin FTI – ITS.
6. Sidi, Pranowo dan Wahyudi, M. Thoriq. 2012. *Analisis Kekerasan Pada Pipa yang Dibengkokan Akibat Pemanasan*. Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
7. Smith, William F. 2006. *Foundation of Materials Science and Engineering (4th ed)*.
8. Chandler, Harry. 1999. *Hardness Testing of Materials, 2nd edition*. ASM International.
9. Tood, Robert H. 1994. *Manufacturing Processes Reference Guide*.
10. G. Petzow. 1999. *Metallographic Etching, 2nd edition*. ASM International.

# Lampiran 1

## Macam-macam Struktur Mikro

### MACAM-MACAM STRUKTUR MIKRO



#### FERRIT

*Kadar karbon* : 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.  
*Struktur kristal* : BCC  
*Sifat mekanis* : Lunak dan ulet (kondisi anil)  
*Kekerasan* : 140 - 180 HVN



#### PEARLITE

*Kadar karbon* : 0,8% dan terbentuk pada suhu 723°C  
*Struktur kristal* : Struktur duplek dari ferrite dan cementite.  
*Sifat mekanis* : Lunak  
*Kekerasan* : ± 180-250 HVN



#### AUSTENITE

*Kadar karbon* : 2%  
*Struktur kristal* : FCC  
*Sifat mekanis* : Lunak dan ulet (kondisi besi murni)  
*Kekerasan* : ± 390 HVN



#### LEDEBURITE

*Kadar karbon* : 4,3% dan terbentuk pada suhu 1130°C  
*Struktur kristal* : Struktur duplek dari austenite dan cementite.  
*Sifat mekanis* : Keras  
*Kekerasan* : ± 760 HVN



#### CEMENTITE

*Kadar karbon* : 6,67%  
*Struktur kristal* : Orthorhombik  
*Sifat mekanis* : Sangat Keras dan getas  
*Kekerasan* : ± 800 HVN



#### BAINITE

*Kadar karbon* : < 0,5%  
*Struktur kristal* : BCC  
*Sifat mekanis* : Sangat keras dan getas  
*Kekerasan* : 300 - 400 HVN



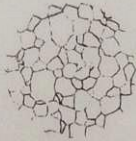
#### MARTENSITE

*Kadar karbon* : > 0,5%  
*Struktur kristal* : BCT  
*Sifat mekanis* : Sangat keras  
*Kekerasan* : > 500 HVN

## Lampiran 2

### Definisi Macam-macam Struktur Mikro

#### MACAM-MACAM STRUKTUR MIKRO



##### FERRIT

*Definisi* : Larutan padat interstisial karbon dalam besi  $\alpha$  dengan kadar karbon 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar.

*Bentuk* : Butir-butir kristal yang padat

*Warna* : Putih terang



##### PEARLITE

*Definisi* : Suatu eutectoid mixture dari cementite dan ferrite terdiri dari lapisan alpha-ferrit (88%) dan cementite (12%) dengan kadar karbon 0,8%.

*Bentuk* : Pipih atau berlapis

*Warna* : Kehitaman



##### AUSTENITE

*Definisi* : Larutan padat interstisial karbon dalam besi  $\gamma$  dengan kadar karbon 2%.

*Bentuk* : Padatan seperti plat

*Warna* : Abu-abu terang



##### LEDEBURITE

*Definisi* : Suatu eutectic mixture dari austenite dan cementite dengan kadar karbon 4,3%.

*Bentuk* : Berbutir-butir

*Warna* : Putih dengan bintik-bintik hitam



##### CEMENTITE

*Definisi* : Karbida besi  $\text{Fe}_3\text{C}$ , merupakan senyawa interstisial dengan kadar karbon 6,67%.

*Bentuk* : Jaringan (network)

*Warna* : Putih



##### BAINITE

*Definisi* : Acicular mikro yang terbentuk pada baja pada suhu sekitar 250-550 °C dengan kadar karbon < 0,5%.

*Bentuk* : Jarum-jarum acicular yang tidak sejajar satu sama lain

*Warna* : Abu-abu gelap



##### MARTENSITE

*Definisi* : Struktur metastabil yang terbentuk karena proses pendinginan yang cepat atau sangat cepat pada temperatur austenitisasinya dengan kadar karbon > 0,5%.

*Bentuk* : Jarum-jarum pendek

*Warna* : Hitam pekat

**Lampiran 3**  
Tabel Konversi Kekerasan

Hardness Conversion Table				
Brinell Hardness (HB)	Rockwell Hardness (HRC)	Rockwell Hardness (HRB)	Vickers Hardness (HV)	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )
800	72			
780	71			
760	70			
752	69			
745	68			
746	67			
735	66			
711	65			
695	64			
681	63			
658	62			
642	61			
627	60			
613	59			
601	58		746	
592	57		727	
572	56		694	
552	55		649	
534	54	120	589	
513	53	119	567	
504	52	118	549	
486	51	118	531	
469	50	117	505	
468	49	117	497	
456	48	116	490	1569
445	47	115	474	1520
430	46	115	458	1471
419	45	114	448	1447
415	44	114	438	1422
402	43	114	424	1390

388	42	113	406	1363
375	41	112	393	1314
373	40	111	388	1265
360	39	111	376	1236
348	38	110	361	1187
341	37	109	351	1157
331	36	109	342	1118
322	35	108	332	1089
314	34	108	320	1049
308	33	107	311	1035
300	32	107	303	1020
290	31	106	292	990
277	30	105	285	971
271	29	104	277	941
264	28	103	271	892
262	27	103	262	880
255	26	102	258	870
250	25	101	255	853
245	24	100	252	838
240	23	100	247	824
233	22	99	241	794
229	21	98	235	775
223	20	97	227	755
216	19	96	222	716
212	18	95	218	706
208	17	95	210	696
203	16	94	201	680
199	15	93	199	667
191	14	92	197	657
190	13	92	186	648
186	12	91	184	637
183	11	90	183	617
180	10	89	180	608
175	9	88	178	685
170	7	87	175	559
167	6	86	172	555
166	5	86	168	549
163	4	85	162	539
160	3	84	160	535
156	2	83	158	530



154	1	82	152	515
149		81	149	500
147		80	147	490
143		79	146	482
141		78	144	481
139		77	142	480
137		76	140	475
135		75	137	467
131		74	134	461
127		72	129	451
121		70	127	431
116		68	124	422
114		67	121	412
111		66	118	402
107		64	115	382
105		62	112	378
103		61	108	373
95		56	104	
90		52	95	
81		41	85	
76		37	80	

# Lampiran 4

## Tabel diameter besar butir

TABLE 4 Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

Grain Size No. G	$N_A$ Grains/Unit Area		$\bar{A}$ Average Grain Area		$\bar{T}$ Average Diameter		$\bar{T}$ Mean Intercept		$\bar{R}_L$
	No./in. <sup>2</sup> at 100X	No./mm <sup>2</sup> at 1X	mm <sup>2</sup>	μm <sup>2</sup>	mm	μm	mm	μm	No./mm
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.0
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0



## MILL TEST CERTIFICATE

ORDER AND SUPPLY NO. 0  
MANUFACTURER: HEBEI JIMENG HIGHSTRENGTH FLANGE-TUBES GROUP CO., LTD  
PRODUCT NAME: CARBON STEEL PIPE FITTINGS  
PORT OF DISPATCH: TIANJIN PORT CHINA  
PORT OF DESTINATION:  
DATE OF ISSUE: May 12, 2014

### HEBEI JIMENG HIGHSTRENGTH FLANGE-TUBES GROUP CO., LTD

PRODUCT STANDARD: SA 179				SURFACE PROTECTION: ANTI-ROST PAINT				PACKING REQUIREMENTS: WOODEN CASE			
NO.	SAMPLE PRODUCT NAME			MATERIAL STANDARD	UNIT	QUANTITY	HEAT NO.	SURFACE QUALITY	GEOMETRY DIMENSION	TREATMENT	
1	CARBON STEEL TUBES SA 179 1"				PCS	100	712345	SATISFACTION	SATISFACTION	HOT FORMED	
2	CARBON STEEL TUBES SA 179 2"				PCS	100	712345	SATISFACTION	SATISFACTION	AT	
3	CARBON STEEL TUBES SA 179 3"				PCS	200	712345	SATISFACTION	SATISFACTION	920 °C	
4	CARBON STEEL TUBES SA 179 4"				PCS	150	712345	SATISFACTION	SATISFACTION	NONDESTRUCTIVE TEST	
5	CARBON STEEL TUBES SA 179 1-1/4"				PCS	150	712345	SATISFACTION	SATISFACTION	AT, HST	
CHEMICAL COMPOSITION AND MECHANICAL PROPERTY OF THE RAW MATERIAL											
CHEMICAL COMPOSITION (%)											
NO.	MECHANICAL PROPERTY										
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Ni	Cu	OTHER	
MIN	0.07	0.45									
MAX	0.18	0.65									
1	0.07	0.45	0.028	0.028		0.05					
2	0.09	0.58	0.028	0.025		0.07					
3	0.12	0.65	0.031	0.031		0.12					
4	0.15	0.56	0.033	0.033		0.10					
5	0.18	0.49	0.029	0.035		0.07					

河北冀孟高压法兰管件集团有限公司  
HEBEI JIMENG HIGHSTRENGTH  
FLANGE-TUBES GROUP CO., LTD  
张恩南

## **Biodata Penulis**



Penulis bernama Lanal Septiawan Nugroho lahir di Kota Sidoarjo Jawa Timur, pada tanggal 11 September 1996. Anak pertama dari dua bersaudara. Bertempat tinggal di Jalan Kutuk Barat nomor 14 Perumahan Sidokare, Sidoarjo.

Pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penulis yaitu pada tahun 2002-2008 bersekolah di SDN Sidokare 3 Sidoarjo, Kemudian pada tahun 2008-2011 melanjutkan pendidikan di SMPN 4 Sidoarjo, kemudian pada tahun 2011-2014 melanjutkan ke Sekolah Menengah Atas di SMAN 2 Sidoarjo. Pada tahun 2014, penulis melanjutkan di Perguruan Tinggi Negeri di Surabaya, dengan mengambil Program Studi D3 Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS dalam bidang studi manufaktur.

Penulis sempat melakukan Kerja Praktek di PT. PJB UP Brantas PLTA Lodoyo di dalam divisi Quality Control selama 1 bulan dalam mata kuliah akademik semester 5.

Penulis juga sempat aktif di beberapa kegiatan yang diadakan oleh Himpunan D3 Teknik Mesin, mulai dari pelatihan sebagai peserta maupun panitia.